



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI**  
**CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**RAMON KESSLEN DA SILVA DA CONCEIÇÃO**

**Análise de Resposta da Variação de Área de Manguezal na Região da Ilha  
do Maranhão.**

**SÃO LUÍS - MA**  
**2025**

**RAMON KESSLEN DA SILVA DA CONCEIÇÃO**

**Análise de Resposta da Variação de Área de Manguezal na Região da Ilha do Maranhão.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão para obtenção do grau de bacharelado em Oceanografia.

Orientador(a): Denilson da Silva Bezerra

**SÃO LUÍS - MA**

**2025**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Conceição, Ramon Kesslen da Silva da.

Análise de Resposta da Variação de Área de Manguezal na  
Região da Ilha do Maranhão / Ramon Kesslen da Silva da  
Conceição. - 2025.

36 f.

Orientador(a): Denilson da Silva Bezerra.

Curso de Oceanografia, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís, Maranhão, 2025.

1. Manguezal. 2. Ilha do Maranhão. 3. Sensoriamento  
Remoto. 4. Modelos Computacionais. 5. Modelo Matemático.  
I. Bezerra, Denilson da Silva. II. Título.

**ANÁLISE DE RESPOSTA DA VARIAÇÃO DE ÁREA DE MANGUEZAL NA  
REGIÃO DA ILHA DO MARANHÃO.**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Oceanografia  
da Universidade Federal do Maranhão  
para obtenção do grau de bacharelado  
em Oceanografia.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Denilson da Silva Bezerra (Orientador)  
**Universidade Federal do Maranhão – UFMA**

---

Naíla Arraes de Araujo (Titular)  
**Universidade Federal do Maranhão – UFMA**

---

Flavia Rebelo Mochel (Titular)  
**Universidade Federal do Maranhão – UFMA**

À minha família, pelo apoio e incentivo que, sob sol e chuva, ajudaram-me a chegar até aqui, protegendo-me e dando-me forças em cada passo.

## AGRADECIMENTOS

Tantas pessoas.

Não poderia começar sem agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele seria impossível de eu ter chegado até aqui. Ele foi, é e sempre será a minha fonte de energia para que eu possa enfrentar todas as batalhas e obstáculos que possam surgir na minha jornada.

Agradeço em especial aos meus pais por sempre me apoiarem e serem minha inspiração para estudar e trabalhar. Obrigado por acreditarem em mim mesmo quando algumas vezes duvidei, mesmo quando eu pensei em desistir, vocês são a minha razão de ir até o final.

Agradeço em especial ao meu irmão pelas palavras de incentivos e o apoio incondicional que sempre deu nos momentos difíceis, nas noites mal dormidas das semanas de provas e trabalhos da faculdade, obrigado mano, você é mil.

Aos meus amigos do coração, Alisson e André que sempre me apoiaram, à Gêssica conhecida minha desde infância que pode contribuir nos momentos finais do curso, à minha prima Elen e aos meus tios e tias, Raimundo, Cláudia, Joseli, e Josemar, que sempre estiveram comigo: obrigado pelas conversas, pela atenção e pelas suas ajudas, as quais foram muitas, inclusive financeiramente, como colocar crédito na minha carteira e pagar inscrições quando meus recursos ficavam curtos e quando a situação na minha casa apertava, isso tudo antes mesmo de eu começar a trabalhar, ainda durante a graduação. Obrigado, vocês têm minha eterna gratidão.

Agradeço em especial ao meu orientador, Prof. Denilson e ao Felipe Martins, pela orientação durante este último período. Sempre estiveram dispostos a me ajudar, seja buscando ao máximo evitar que eu precisasse me ausentar do trabalho — situação em que, muitas vezes, eu precisava remunerar colegas para me substituírem —, seja nas orientações acadêmicas. Muito obrigado meus amigos.

Também agradeço aos professores Ribamar Torres, Walter, Antônio Carlos, Perotto, Naíla, Flávia, Katiene, Fabiano e Paula Verônica pelas aulas e compreensão demonstrada durante meus últimos períodos acadêmicos. O esforço foi grande para conciliar o trabalho com os estudos, mas sempre dando

o melhor que pude, mesmo quando precisei me ausentar do trabalho em determinados horários, muitas vezes remunerando colegas para me substituírem. Tudo isso foi feito com o propósito de não abandonar o curso nem comprometer minhas responsabilidades profissionais.

Agradeço aos meus colegas de curso: Luís Vitor, Carlos Rafael, Gerson Damous, Joseph, Marcos Antônio, Mayra, Lucas, Beatriz e Wendel, pela força, conversas e pela amizade nessa jornada. Vocês são mil; à dona Rita e ao senhor Manoel, que mesmo em meio às suas atividades no Deoli, sempre encontravam tempo para uma boa conversa;

E aos meus primeiros colegas e amigos de ingresso de turma, que já concluíram, trocaram ou deixaram o curso: Ítalo Leal, Fernanda Arouche, Giovana Camila, Keven Suanny e Tássio Eduardo. Embora não tenhamos mais convívios ou contatos corriqueiros pelas fases da vida, sou profundamente grato a todos vocês, não apenas pelo auxílio mútuo em diversos momentos de atividades acadêmica, mas também pelas conversas, descontrações, discussões, brigas e conciliação, almoços, dinheiro, problemas e lanches compartilhados, pelas risadas com os memes, pela diversão dos jogos e pelas histórias do cotidiano que, em vários momentos, tornaram essa trajetória mais leve e significativa. Pena que aquele encontro no churrasco nunca aconteceu.

Sou grato a todas as amigadas que fiz na Oceanografia e que me acompanharam pela graduação.

Agradeço à UFMA e ao contribuinte por me proporcionar essa experiência e pela oportunidade de adquirir uma educação superior. Agradeço a todos os professores que estão ou passaram pelo Deoli, que, mesmo diante de alguns obstáculos, sempre deram o seu melhor e tentaram proporcionar uma graduação mais completa, seja com palestras, saídas de campo ou contato com entidades externas ao meio acadêmico, para sempre nos lembrar que existe um mundo fora da universidade.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Obrigado!

*“O temor do Senhor é o princípio do conhecimento; os loucos desprezam a sabedoria e a instrução.”*

(Provérbios 1:7)

## RESUMO

Este trabalho analisou a variação espacial e temporal da área de manguezal na Ilha do Maranhão, abrangendo os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar, ao longo do período de 1985 a 2024. Para isso, foram utilizadas séries temporais anuais de cobertura de manguezal derivadas da base de dados do projeto MapBiomias, combinadas com análises exploratórias e testes estatísticos não paramétricos. A área anual de manguezal foi quantificada para cada município e para o conjunto da ilha, permitindo avaliar tanto padrões locais quanto o comportamento integrado do sistema. A dinâmica temporal foi caracterizada por meio da variação líquida anual de área e pela aplicação dos testes de Mann–Kendall, Mann–Kendall com Trend-Free Pre-Whitening e inclinação de Sen, a fim de identificar tendências monotônicas e estimar a magnitude das variações ao longo do tempo. Adicionalmente, o teste de Pettitt foi empregado para investigar possíveis mudanças abruptas no regime temporal das séries. Os resultados indicaram um crescimento líquido e estatisticamente significativo da área total de manguezal na Ilha do Maranhão ao longo das quatro décadas analisadas, apesar da elevada variabilidade interanual observada. Esse crescimento mostrou-se espacialmente heterogêneo, sendo fortemente impulsionado pelos municípios de São Luís e Raposa, que apresentaram tendências positivas significativas, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar exibiram um padrão de estabilidade de longo prazo, com ganhos e perdas anuais aproximadamente compensados. De forma integrada, o estudo evidencia que os manguezais da Ilha do Maranhão apresentam uma dinâmica complexa, na qual tendências positivas de longo prazo coexistem com oscilações anuais expressivas. Os resultados reforçam a importância do uso de séries temporais longas e de métodos estatísticos robustos para o monitoramento ambiental, fornecendo subsídios relevantes para a gestão e conservação dos manguezais em escala local e regional

**Palavras-chave:** Manguezal; Ilha do Maranhão; Sensoriamento Remoto; Modelos Computacionais; Modelo Matemático.

## ABSTRACT

This study analyzed the spatial and temporal variation of mangrove area on Maranhão Island, encompassing the municipalities of São Luís, São José de Ribamar, Raposa, and Paço do Lumiar, over the period from 1985 to 2024. Annual time series of mangrove cover derived from the MapBiomas dataset were combined with exploratory analyses and non-parametric statistical tests. Mangrove area was quantified annually for each municipality and for the island as a whole, allowing the assessment of both local patterns and the integrated behavior of the system. Temporal dynamics were characterized through the calculation of annual net area change and the application of the Mann–Kendall test, the Mann–Kendall test with Trend-Free Pre-Whitening, and Sen's slope estimator, in order to detect monotonic trends and estimate the magnitude of long-term variations. Additionally, the Pettitt test was employed to investigate the presence of abrupt changes in the temporal regime of the series. The results indicated a net and statistically significant increase in total mangrove area on Maranhão Island over the four decades analyzed, despite the high interannual variability observed. This growth was spatially heterogeneous and was strongly driven by the municipalities of São Luís and Raposa, which exhibited significant positive trends, whereas São José de Ribamar and Paço do Lumiar displayed a long-term stability pattern, with annual gains and losses largely compensating each other. Overall, the study shows that mangroves on Maranhão Island exhibit complex dynamics, in which long-term positive trends coexist with pronounced interannual fluctuations. The findings highlight the importance of long time series and robust statistical methods for environmental monitoring and provide relevant information to support mangrove management and conservation at local and regional scales.

**Keywords:** Mangrove; Maranhão Island; Remote Sensing; Computational Models; Mathematical Model.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	13
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>3. REVISÃO LITERÁRIA</b> .....	14
<b>3.1. Modelagem e Importância dos Manguezais</b> .....	14
<b>3.2. Tecnologias de Sensoriamento Remoto no Monitoramento Ambiental</b> .....	16
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	18
<b>4.1. Área de Estudo</b> .....	18
<b>4.2. Análises Estatísticas</b> .....	19
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>5.1. Variação temporal da área de manguezal (1985–2024)</b> .....	21
<b>5.2. Ganho líquido anual de área de manguezal</b> .....	23
<b>5.3. Tendência estatística e magnitude da variação</b> .....	26
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	31
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema de transição entre os ambientes terrestre e marinho e representa um importante indicador ecológico pelos serviços ecossistêmicos fornecidos (VIKOU 2023).

O Brasil é o segundo país, depois da Indonésia, em área total de manguezais, com aproximadamente 13.000 km<sup>2</sup> (Spalding et al., 2010), e de acordo com Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (2018), cerca de 80% dos seus manguezais estão distribuídos em três estados do bioma amazônico: Maranhão (36%), Pará (28%) e Amapá (16%).

Conforme o apontamento de Muniz (2013, p. 39), há a ocorrência de quatro espécies arbóreas nos ecossistemas de manguezal no litoral da Ilha do Maranhão: *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho), própria de solos lodosos, *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) presentes em solo mais firme e altos, *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*, conhecidas como mangue-preto.

Vanin (2023) aponta que a complexidade dessas florestas ao longo de um gradiente terrestre-costeiro permite que uma rica diversidade de organismos, de microrganismos até grandes vertebrados, as utilizem como habitat, beneficiando dos nutrientes disponíveis.

Os manguezais do Maranhão, sobretudo o de sua grande ilha, são importantes para o comércio local. Algumas áreas que compreendem a zona rural e outras que formam a área urbana da região metropolitana da ilha dependem desses ambientes e possuem uma relação mútua.

A Ilha do Maranhão, na região Nordeste do Brasil, é um exemplo de área onde os manguezais desempenham um papel fundamental na preservação da biodiversidade e na economia local (IMESC, 2025)

Apesar do seu importante papel, de acordo com Silva (2020), os manguezais enfrentam um cenário global de retração contínua, com perdas estimadas em 30% nas últimas três décadas, devido a pressões sociais e econômicas.

Essas pressões são destacadas em trabalhos como o de Gomes (2001), Celeri (2019) e IMESC (2025), que convergem ao afirmar que a expansão urbana desordenada, impulsionada pelo crescimento populacional e por empreendimentos de infraestrutura, promove a ocupação irregular de áreas de

manguezais, resultando na degradação desses ecossistemas e na precarização das condições de vida de populações de baixa renda na região da Ilha do Maranhão.

Diversas áreas e ferramentas de conhecimento, tais como sensoriamento remoto, análises estatísticas, modelos matemáticos e computacionais, geoprocessamento, geofísica ambiental e biologia vegetal, podem ser utilizadas para estudar esses ambientes, sendo seu monitoramento um aspecto indispensável para o planejamento, formulação e aplicação de políticas ambientais coerentes e eficientes voltadas à preservação e manutenção dessas áreas.

Diante do exposto, é possível afirmar que essa temática se apresenta como fundamental para fomentar o debate sobre a redução de riscos causados pelas pressões anteriormente citadas nos ambientes de manguezais.

Nesse contexto, o presente estudo utilizando técnicas de e modelos computacionais, análises estatísticas e geoprocessamento busca, portanto, compreender a variação de área de mangues da zona que compreende a Ilha do Maranhão numa série histórica de 40 anos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar a variação espacial e temporal das áreas dos manguezais presentes na região da Grande Ilha.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Quantificar a evolução anual no espaço-temporal de 1985 a 2024 e o ganho líquido da cobertura de manguezal;
- Avaliar a significância e a magnitude temporal e elaborar mapas;
- Identificar pontos de mudança abrupta e variabilidade interanual no regime das séries temporais.

### **3. REVISÃO LITERÁRIA**

#### **3.1. Modelagem e Importância dos Manguezais.**

Os levantamentos de campo, essenciais para a obtenção detalhada e direta de informações sobre a realidade atual dos ecossistemas, oferecem um registro preciso do momento observado. Complementarmente, a utilização de modelagens matemáticas e computacionais amplia esse alcance, permitindo analisar, por meio de simulações e dados históricos, o comportamento de um sistema ao longo de décadas, o que viabiliza a identificação de tendências e padrões em escalas temporais muito maiores.

Essas ferramentas de simulação têm sido aplicadas de diferentes maneiras no campo científico, com o objetivo de ter um melhor entendimento do objeto de estudo e ampliar a compreensão da realidade observada.

Através do fornecimento de dados de entrada e verificação dos dados de saída no modelo, é possível analisar as propriedades e comportamento do sistema de uma maneira prática (BRATLEY *et al.*, 1987).

O uso dessas ferramentas é fundamental para verificar como as áreas de manguezais estão se comportando diante das dinâmicas e transformações decorrentes das atividades humanas e fenômenos naturais. Esses modelos permitem retroceder décadas para entender como a linha de costa e a densidade da vegetação dos manguezais se comportaram, indicando padrões de crescimento ou queda que são fundamentais para compreensão da situação presente e para a conservação das áreas desses ecossistemas.

Tanto Gomes (2001) quanto Moreira *et al.* (2015) convergem ao afirmar que o avanço desordenado da ocupação habitacional impulsionou ações como desmatamento e aterramento, que causaram modificações em áreas que possuíam mangues para construção de novos bairros em alguns pontos da Ilha do Maranhão, ressaltando que esse avanço provocou a formação de aglomerados subnormais, sobretudo em áreas de manguezais.

Estudos realizados por Brito e Bezerra (2017) também vão ao encontro dos trabalhos de Medeiros (2012), destacando que as áreas de manguezais na ilha estão diminuindo, fato associado aos aterramentos e possivelmente

relacionados a tensores como necessidade de moradia, pressão imobiliária e expansão da malha urbana.

A asfixia das áreas desse ecossistema pelos agentes, descritos por Brito e Bezerra (2017), compromete os serviços ecossistêmicos que os mangues maranhenses promovem.

Um trabalho realizado por Mochel *et al.* (2024) mostra que, por causa de agentes que podem asfixiar os manguezais da Ilha, pescadores têm a percepção de que a redução dos serviços de provisão do manguezal foi causada pelas perdas de suas áreas, principalmente no que se refere à obtenção de alimentos e, conseqüente, a diminuição nos ganhos econômicos.

Ribeiro *et al.* (2024) também vão ao encontro do trabalho de Mochel *et al.* (2024), ao afirmar que muitos moradores da região dos manguezais da Praia de Mangue Seco ligados ao município de Raposa relataram que está ocorrendo a perda da biodiversidade local, o que possivelmente é motivada por agentes externos da comunidade.

O efeito dessa degradação influi diretamente em atores e setores que dependem dos manguezais, principalmente na região da Ilha do Maranhão, os quais estão condicionados em algumas áreas da zona rural e zona urbana que precisam desses ambientes, possuindo uma relação mútua de mercado e recursos pesqueiros.

Esse cenário evidencia que a estabilidade da economia local está intrinsecamente ligada à integridade do ecossistema, uma vez que trabalhos como o de Carvalho Neta (2008) e Santos *et al.* (2018) mostram a relevância dos manguezais para a manutenção de populações, seja na reprodução, abrigo e alimentação de diversas espécies marinhas e terrestres na região da Ilha do Maranhão.

Além disso, diante desse valor ecológico, os manguezais também despontam como áreas estratégicas para o turismo sustentável (IDAJATI; PAMUNGKAS; VELY KUKINUL, 2016).

Segundo Nugraha *et al.* (2015), o ecoturismo nesses locais consiste na exploração ambientalmente responsável da floresta de mangue, garantindo que o uso econômico não comprometa a integridade do ecossistema.

Dada a relevância dos manguezais do Maranhão, sobretudo o de sua grande ilha, que possui expressiva importância social, econômica e cultural, visto

que seus serviços ecossistêmicos promovem funções essenciais, como o suporte à pesca, fornecendo áreas de reprodução e abrigo para diversas espécies que sustentam o comércio local, além de valor turístico e educativo, é imperativa a utilização de técnicas estatísticas e computacionais que visem monitorar esse ambiente.

### **3.2. Tecnologias de Sensoriamento Remoto no Monitoramento Ambiental.**

Com a evolução das tecnologias, a aplicação de ferramentas que possam ajudar a monitorar o comportamento do meio ambiente é muito necessária, visto que a sociedade está constantemente passando por transformações. Essas tecnologias são usadas para visualizar imagens, utilizar dados, realizar recortes em séries anuais, além de compilar, validar e refinar alertas em tempo real.

O avanço em áreas como o sensoriamento remoto e a análise de dados espaciais não só amplia a capacidade de monitorar o litoral, mas também para acompanhar as mudanças ambientais, trazendo estratégias mais modernas para a gestão dessas áreas críticas.

O uso de dados de detecção remota no estudo das mudanças globais está em ascensão, impulsionado pela expansão das observações via satélite ao longo de períodos mais extensos e pelo aumento do número de sensores e medições que oferecem maior conhecimento sobre nosso planeta (CORDOVIL *et al.*, 2024)

O levantamento do uso e cobertura do solo indica a distribuição geográfica da tipologia de uso através de padrões homogêneos da cobertura terrestre, de modo a obter uma representação temática da superfície terrestre sintetizada por meio de mapas (IBGE, 2013)

No caso do monitoramento de biodiversidade em manguezais, além de avaliar a integridade do ecossistema [...], também avalia a sustentabilidade de exploração de alguns recursos pesqueiros (BRASIL, 2024).

Nesse contexto, projetos como o MapBiomas (SOUZA *et al.*, 2020) e a plataforma Google Earth Engine (GEE) têm ajudado muito no monitoramento das mudanças na cobertura e uso do solo em grandes escalas temporais e espaciais.

Segundo Kumar e Mutanga (2019) o Google Earth Engine (GEE) surgiu como uma plataforma baseada em nuvem para facilitar e simplificar o processamento de dados geoespaciais.

O Mapbiomas dispõe de um conceito de florestas mais extenso e tem como apuramento um mapeamento mais inclusivo, podendo ser utilizado para identificar áreas de plantio e recomposição de florestas nativas (SOUZA *et al.*, 2020).

Desde sua primeira coleção publicada em abril de 2016, o MapBiomias vem reunindo muitos usuários. Isso decorre das diversas aplicações desses dados no planejamento do uso do solo (RIBEIRO, 2022).

A integração de Big Data, como o MapBiomias, e dados georreferenciados ao uso de ferramentas de modelagem computacional traz benefícios em diversos setores, como ciência, gestão e monitoramento ambiental, planejamento urbano, meteorologia, mineração, previsão de desastres naturais, agricultura e pecuária.

Paiva *et al.* (2020) afirmam que ao fornecer dados objetivos e atualizados, essa tecnologia ajuda a embasar argumentos científicos, impulsionando ações governativas e da sociedade civil conduzidas para a proteção do meio ambiente.

No entanto, embora esses dados sejam úteis, eles precisam passar por um tratamento.

Conforme pontuado por Jafarbiglu e Pourreza (2022), os dados coletados em um processo de sensoriamento remoto contêm informações com características específicas, mas na maioria das vezes, as características brutas não são adequadas ou, às vezes, são redundantes para serem usadas no processo de modelagem, o que compromete a precisão da análise ambiental.

Assim, os dados de sensoriamento remoto precisam passar por um controle de qualidade rigoroso, antes de serem transformados em evidências científicas. Nesse contexto, a avaliação da acurácia defendida por Banko (1998) surge como etapa essencial, garantindo que usuários conheçam a confiabilidade dos produtos geoprocessados antes de utilizá-los em análises ambientais.

## 4. METODOLOGIA

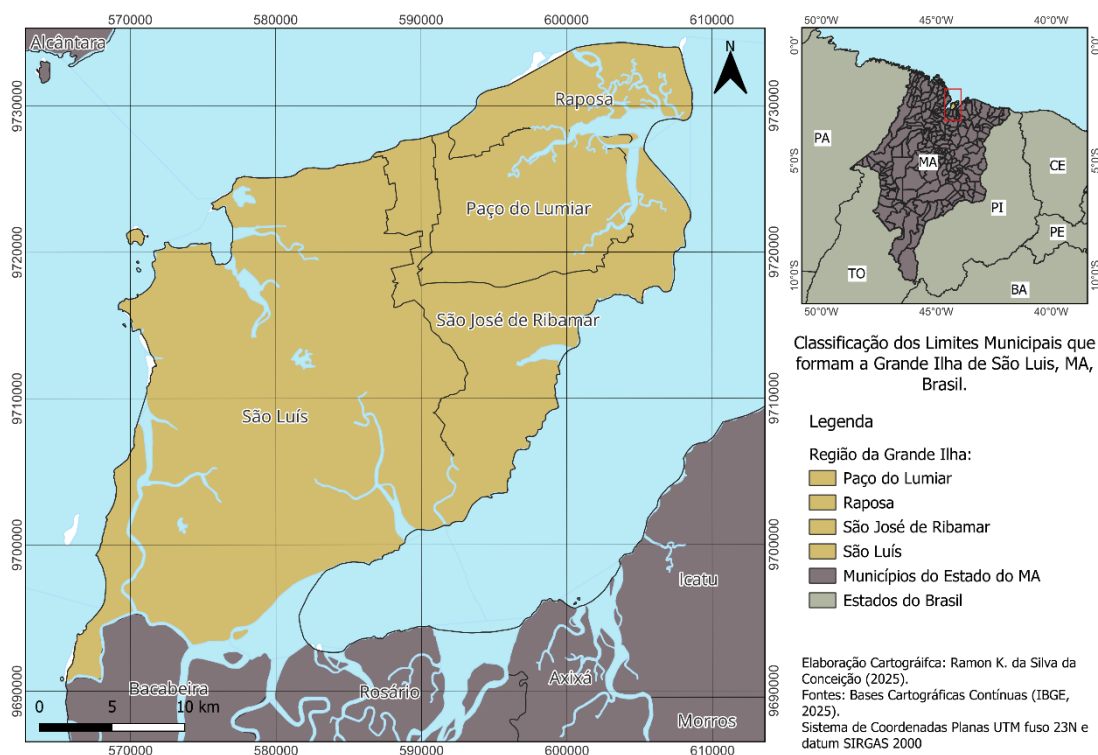
### 4.1. Área de Estudo.

A área de estudo compreende a Ilha do Maranhão, conhecida em tupi-guarani como Ilha de Upaon-Açu, incluindo os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. A área total da Ilha do Maranhão é de 1.412,26 km<sup>2</sup>.

De acordo com Araújo (2005) a Ilha do Maranhão está localizada nas coordenadas 2° 24` 10" e 2° 46` 37" de latitude Sul e 44° 22` 39" e 44° 22` 39" de longitude Oeste e está situada na porção central do Golfão Maranhense.

O clima característico da região é o tropical com temperaturas médias com períodos secos no inverno; e quente com chuvas de verão, isto é, Aw, segundo a classificação de Köpppen, com características equatoriais.

**Figura 01 - Limites dos municípios que compõem a Ilha do Maranhão**



Fonte: autoria própria.

Foram analisadas séries temporais anuais da área de manguezal para o período de 1985 a 2024, obtidas a partir de mapeamentos sistemáticos baseados em sensoriamento remoto e classificação temática padronizada da série MapBiomass.

A variável de interesse foi a área anual de manguezal, representada por ( $A_t$ ), expressa em unidades de área (ha), calculada para cada município e para o conjunto da ilha. A série TOTAL\_ILHA foi construída por agregação espacial anual, a partir da soma das áreas municipais correspondentes a cada ano, garantindo consistência espacial e temporal entre as séries.

Antes das análises, os dados passaram por procedimentos de controle de qualidade, incluindo verificação de valores ausentes, consistência temporal, padronização de unidades e checagem da coerência entre a série agregada (TOTAL\_ILHA) e a soma das séries municipais.

#### 4.2. Análises Estatísticas

A variação temporal da área de manguezal foi investigada por meio de análises exploratórias e testes estatísticos não paramétricos, apropriados para séries ambientais com possível não normalidade e presença de *outliers*, conforme amplamente adotado em estudos hidrológicos e ambientais (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

Inicialmente, a variação anual líquida da área de manguezal ( $\Delta A_t$ ), com o objetivo de caracterizar ganhos e perdas interanuais, foi calculada pela relação a seguir, onde:

$$\Delta A_t = A_t - A_{\{t-1\}}$$

$\Delta A_t$  : Variação anual líquida da área de manguezal

$A_t$  : Valor da variável no período atual (área do ano atual)

$A_{\{t-1\}}$ : Valor da variável no período anterior (área do ano anterior)

Para fins exclusivamente descritivos e de visualização, foram utilizadas médias móveis simples, sem impacto nos testes inferenciais.

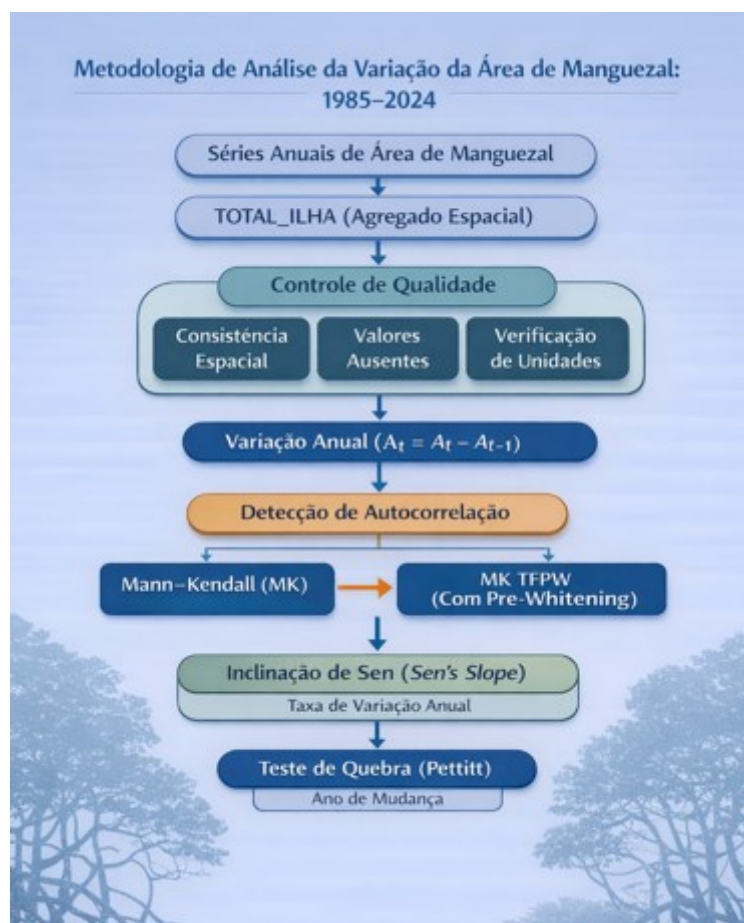
A existência de tendência monotônica nas séries temporais foi avaliada por meio do teste de Mann–Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), adotando-se nível de significância de 5%. Considerando a possível presença de dependência serial em séries temporais ambientais, a autocorrelação de primeira ordem (*lag-1*) foi previamente estimada. Quando detectada autocorrelação relevante, aplicou-se o teste de Mann–Kendall com Trend-Free Pre-Whitening (MK-TFPW), conforme proposto por Yue e Pilon (2002).

A magnitude da tendência temporal foi estimada por meio da inclinação de Sen, que fornece uma estimativa robusta da taxa mediana de variação anual da área de manguezal, sendo menos sensível a valores extremos do que métodos paramétricos tradicionais (SEN, 1968).

Adicionalmente, a presença de mudanças abruptas no regime temporal foi investigada utilizando o teste não paramétrico de Pettitt, empregado para detectar um ponto único de mudança estatisticamente significativo em séries temporais ambientais (PETTITT, 1979).

Todos os testes estatísticos foram aplicados separadamente para cada município e para a série agregada da Ilha do Maranhão (TOTAL\_ILHA).

**Figura 02** - Síntese dos procedimentos metodológicos para estimativa da variação de área de manguezal.



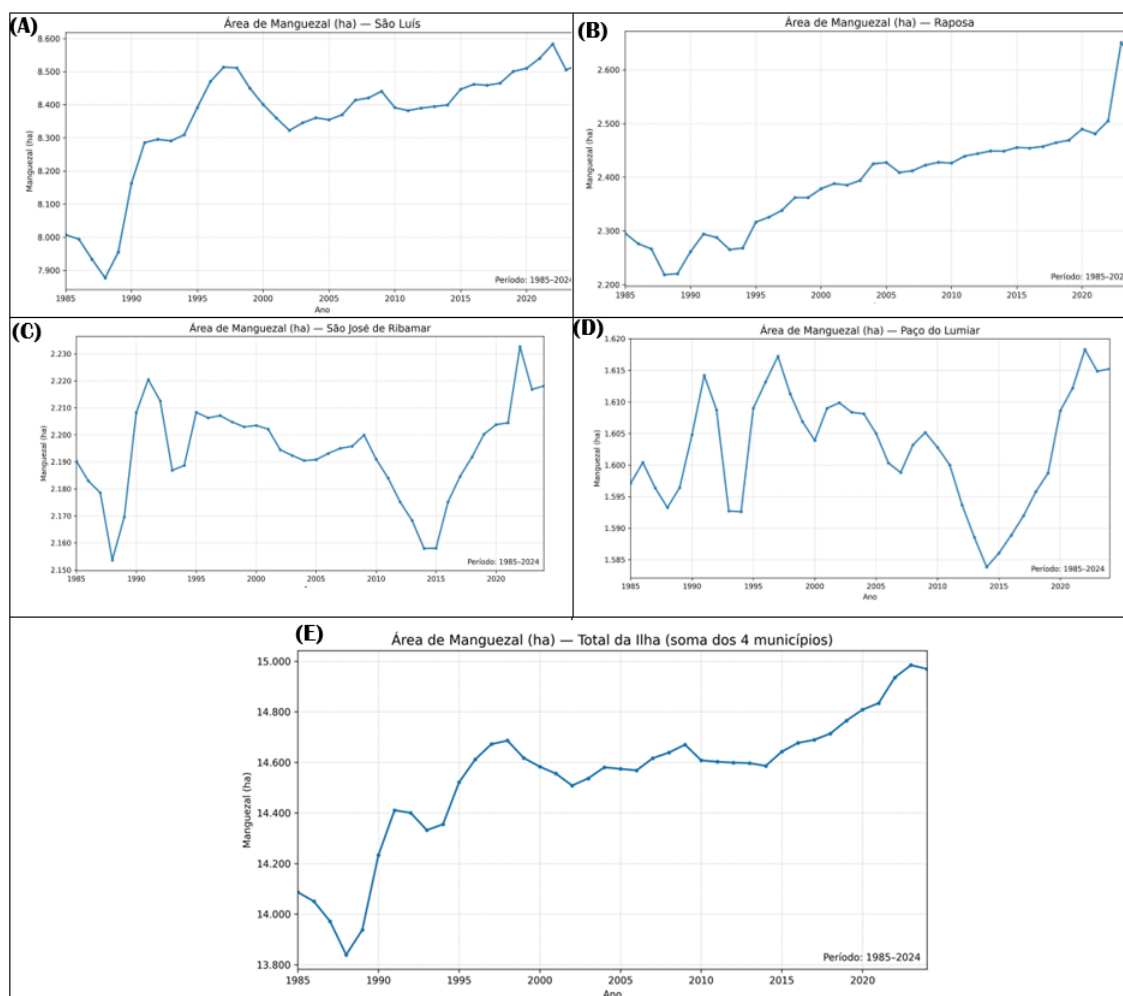
Fonte: autoria própria.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Variação temporal da área de manguezal (1985–2024)

As séries temporais anuais de área de manguezal indicam que a Ilha do Maranhão (TOTAL\_ILHA) apresentou um aumento consistente da cobertura de manguezal ao longo do período de 1985 a 2024, embora com comportamentos distintos entre os municípios analisados. Em particular, São Luís e Raposa exibem crescimento contínuo ao longo da série, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar apresentam flutuações anuais sem uma tendência monotônica evidente.

**Figura 03** - Variação de área de manguezal para os municípios e para a Ilha.



Fonte: autoria própria.

Entre 1985 e 2024, a Ilha do Maranhão apresentou um aumento líquido de 882,66 ha de manguezal, correspondendo a um crescimento de 6,27% em relação à área inicial. Apesar desse ganho acumulado, a série temporal é marcada por forte variabilidade interanual, com alternância entre anos de ganho e perda de área, refletida em extremos anuais que variaram de -132,49 ha a +295,73 ha. Ainda assim, o saldo médio anual foi positivo (+22,63 ha/ano), indicando crescimento consistente no longo prazo.

Em escala municipal, São Luís foi responsável pela maior parcela do ganho absoluto, com acréscimo de 512,07 ha (+6,40%) no período, apresentando média anual positiva de +13,13 ha/ano, embora com elevada variabilidade interanual. Raposa destacou-se pelo maior crescimento relativo, com aumento de 324,70 ha, equivalente a 14,15% da área inicial, e média anual

de +8,33 ha/ano, configurando-se como um dos principais vetores do crescimento observado na Ilha.

Por outro lado, São José de Ribamar e Paço do Lumiar apresentaram variações totais reduzidas ao longo das quatro décadas. Em São José de Ribamar, o ganho acumulado foi de 27,82 ha (+1,27%), com média anual de +0,71 ha/ano, enquanto Paço do Lumiar registrou acréscimo de 18,12 ha (+1,13%), com média anual de +0,46 ha/ano. Em ambos os municípios, a frequência de anos com ganhos e perdas foi aproximadamente equilibrada, caracterizando um regime de estabilidade estatística, sem tendência clara de expansão ou retração no longo prazo.

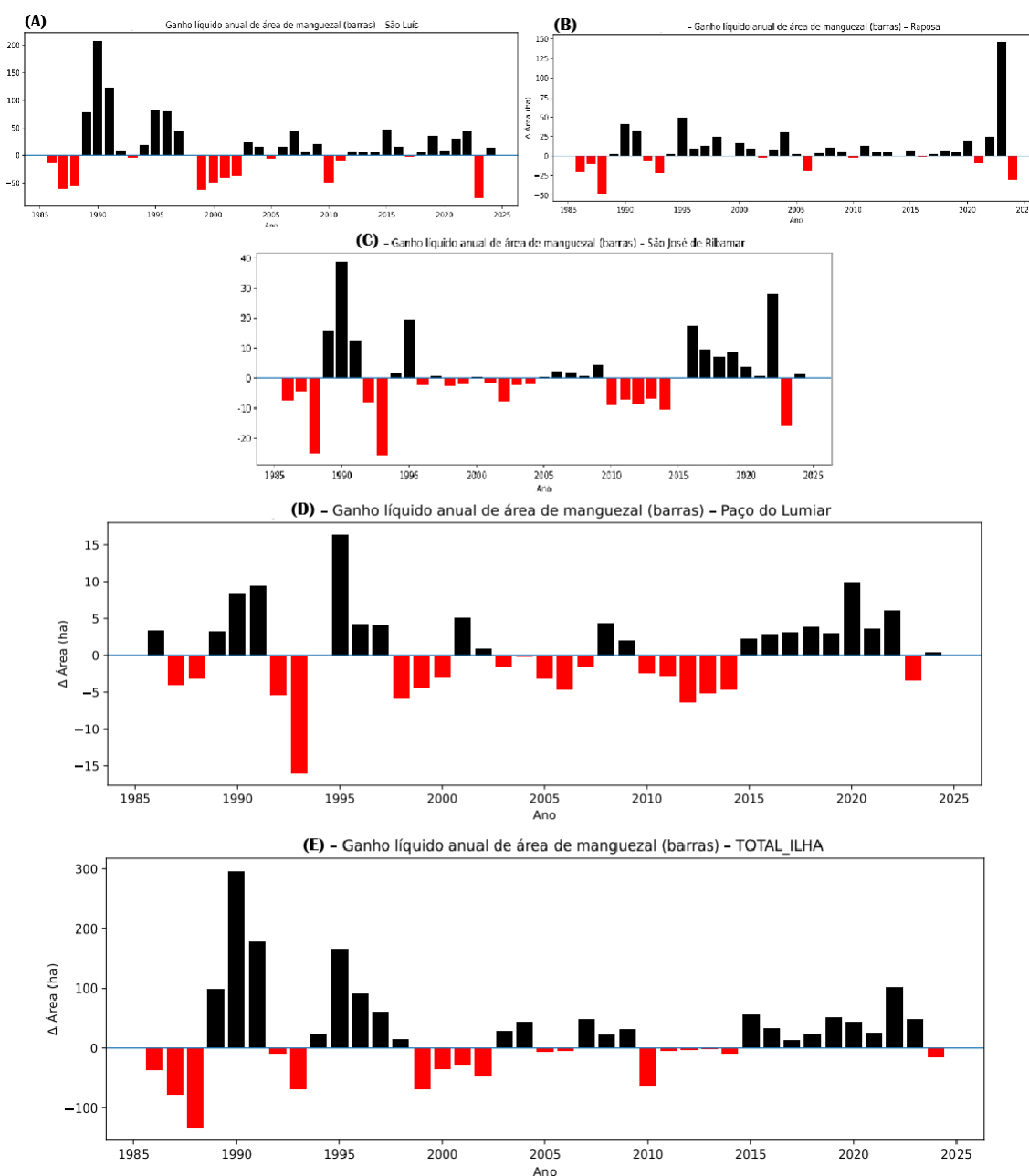
De forma integrada, os resultados indicam que o crescimento do manguezal na Ilha do Maranhão é real, porém espacialmente heterogêneo, sendo fortemente condicionado às dinâmicas observadas em São Luís e Raposa, enquanto os demais municípios mantiveram áreas relativamente estáveis ao longo do período analisado.

## **5.2. Ganho líquido anual de área de manguezal.**

O ganho líquido anual de área de manguezal evidencia elevada variabilidade interanual, com alternância entre anos de ganho e perda em todos os municípios. Apesar dessa variabilidade, observa-se que, no total da ilha, os anos com ganhos líquidos predominam ao longo da série, especialmente a partir da segunda metade da década de 1990.

A análise por município indica que São Luís e Raposa concentram os maiores valores positivos de área, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar apresentam valores próximos de zero, compatíveis com um regime de estabilidade ao longo do tempo.

**Figura 04** - Variação líquida da área de manguezal para os municípios e para a Ilha.



Fonte: autoria própria.

A análise da variação líquida anual de área de manguezal ( $\Delta A_t$ ) revela que, embora o balanço de longo prazo seja positivo para parte da Ilha do Maranhão, a dinâmica anual é marcada por forte variabilidade interanual, com alternância entre anos de ganho e perda (Figura 04). Essa característica é típica de séries ambientais longas derivadas de sensoriamento remoto e fornece informações complementares às análises de tendência monotônica.

No TOTAL\_ILHA, a série apresenta média positiva de +22,63 ha/ano no período de 1986 a 2024, indicando crescimento acumulado ao longo das décadas. Entretanto, esse crescimento não ocorre de forma linear. O maior ganho anual registrado (+295,73 ha em 1990) contrasta fortemente com a maior perda anual (-132,49 ha em 1988), evidenciando um padrão de crescimento impulsionado por anos extremos, que atuam como pulsos positivos ou negativos na trajetória temporal. A frequência de 22 anos positiva frente a 17 anos com tendência negativa reforça que o saldo positivo resulta tanto da predominância de anos de ganho quanto da maior magnitude desses ganhos em comparação às perdas.

Em escala municipal, São Luís apresenta comportamento semelhante ao observado no total da Ilha, com média anual positiva de +13,13 ha/ano e predominância de anos de ganho (25 positivos e 14 negativos). O município concentra extremos expressivos, como o ganho máximo em 1990 (+207,85 ha), mas também registra perdas relevantes em anos recentes, como em 2023 (-77,72 ha). Esse contraste indica que, apesar da contribuição decisiva para o crescimento histórico da Ilha, a dinâmica local permanece sensível a oscilações anuais, o que é particularmente relevante em um contexto urbano-costeiro.

Raposa também se destaca como um dos principais vetores de expansão, com média anual positiva de +8,33 ha/ano e clara predominância de anos de ganho (26 positivos e 13 negativos). Além disso, o município apresentou um ganho extremo recente em 2023 (+145,73 ha), o que sugere que os processos responsáveis pela expansão do manguezal não se restringem ao passado, permanecendo ativos no período mais recente da série. Em contraste, a maior perda anual observada em 1988 (-47,86 ha) indica que o sistema também é suscetível a episódios de retração.

Por outro lado, São José de Ribamar e Paço do Lumiar exibem um padrão distinto, caracterizado por médias anuais muito próximas de zero (+0,71 ha/ano e +0,46 ha/ano, respectivamente) e frequências praticamente equilibradas de anos positivos e negativos. Em São José de Ribamar, os extremos variam entre -25,65 ha (1993) e +38,63 ha (1990), enquanto em Paço do Lumiar os valores são ainda mais moderados (-16,02 ha em 1993 e +16,38 ha em 1995). Esses resultados indicam que, nesses municípios, as oscilações anuais tendem a se compensar no longo prazo, configurando um regime de estabilidade relativa, em

concordância com a ausência de tendência estatisticamente significativa detectada pelos testes de Mann–Kendall com correção por autocorrelação.

De forma integrada, a Figura 03 evidencia que o crescimento do manguezal na Ilha do Maranhão emerge de um balanço espacialmente heterogêneo, no qual São Luís e Raposa concentram os maiores pulsos de ganho e perda, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar atuam como áreas de estabilidade. Essa leitura reforça a importância de analisar conjuntamente a tendência de longo prazo e a variabilidade interanual, evitando interpretações simplificadas baseadas apenas em valores acumulados ou médias.

### 5.3. Tendência estatística e magnitude da variação.

A magnitude da tendência temporal foi estimada por meio da inclinação de Sen, enquanto a significância estatística da tendência monotônica foi avaliada pelo teste de Mann–Kendall (MK) e por sua versão corrigida para autocorrelação (MK-TFPW).

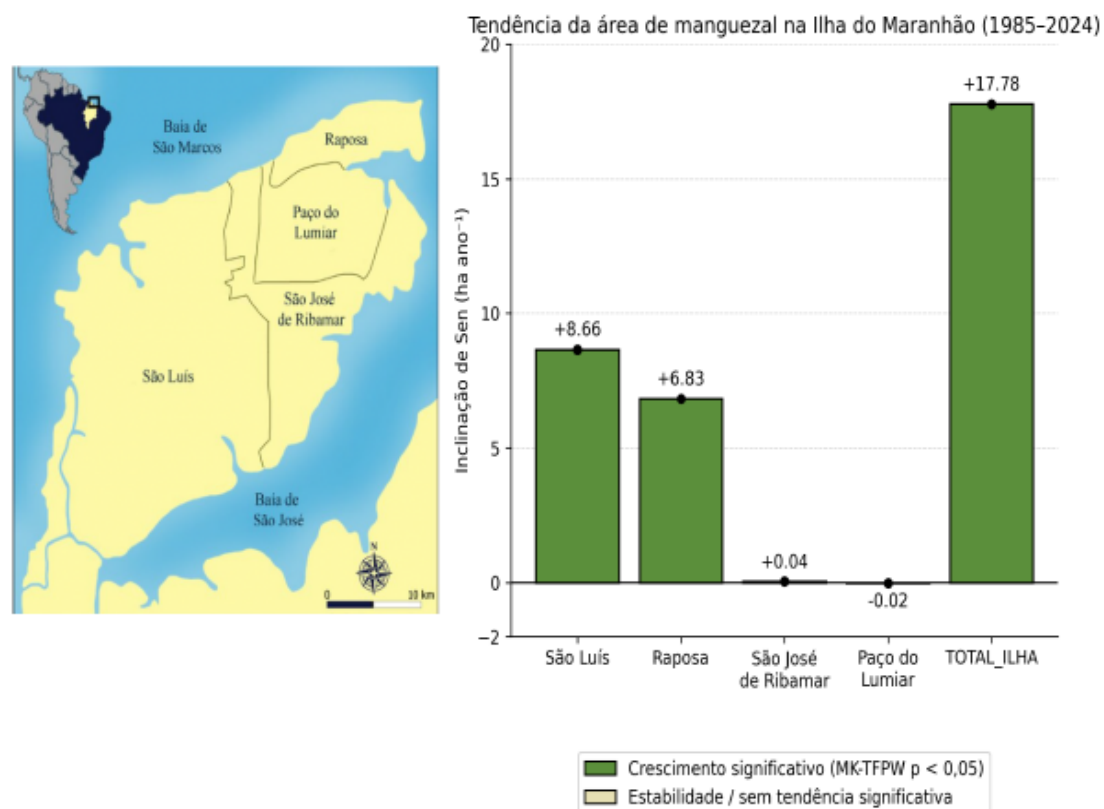
Os resultados mostram tendências positivas e estatisticamente significativas em São Luís, Raposa e no TOTAL\_ILHA, mesmo após a correção por autocorrelação temporal. Em contraste, São José de Ribamar e Paço do Lumiar apresentam inclinações de Sen próximas de zero e p-valores não significativos, indicando ausência de tendência monotônica detectável.

**Tabela 1 – Síntese dos testes estatísticos de tendência (1985–2024).**

Unidade	Sen (ha/ano)	MK p	MK-TFPW p	$\rho$ ■	Pettitt (ano)	Pettitt p
São Luís	8.6628	<0.001	<0.001	0.48	1995	0.0005
Raposa	6.8292	<0.001	<0.001	0.52	2003	<0.001
São José de Ribamar	0.0439	0.843	0.584	0.21	2018	0.242
Paço do Lumiar	-0.0212	0.861	1.000	0.19	2019	0.263
TOTAL_ILHA	17.7830	<0.001	<0.001	0.61	2006	0.00007

Fonte: autoria própria

**Figura 05** - Variação líquida da área de manguezal para os municípios e para a Ilha



Fonte: autoria própria

A figura evidencia um padrão espacialmente heterogêneo de tendência da área de manguezal na Ilha do Maranhão ao longo do período de 1985 a 2024, combinando resultados estatísticos (inclinação de Sen e significância pelo teste de Mann–Kendall com correção por autocorrelação) com a organização territorial dos municípios. Observa-se que apenas São Luís, Raposa e o total da Ilha apresentam tendências positivas estatisticamente significativas, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar permanecem em um regime de estabilidade, sem evidência de tendência monotônica significativa no longo prazo.

O maior valor de inclinação de Sen ocorre para a ilha, indicando que, quando analisada de forma agregada, a Ilha do Maranhão apresenta um crescimento consistente da área de manguezal superior ao observado em qualquer município isoladamente. Esse resultado reforça a interpretação de que o ganho total emerge da soma de processos locais de expansão, ainda que nem todos os municípios contribuam de forma equivalente ou contínua ao longo do tempo. Importante destacar que a inclinação de Sen do total não representa a

soma aritmética das inclinações municipais, mas sim a tendência do sistema integrado, capturando efeitos espaciais compensatórios e a sincronização parcial de ganhos e perdas entre municípios.

Em escala municipal, São Luís e Raposa se destacam como os principais vetores do crescimento observado. São Luís apresenta a maior inclinação de Sen entre os municípios, refletindo um processo de expansão persistente ao longo das décadas, mesmo em um contexto fortemente urbanizado. Esse resultado sugere que, apesar das pressões antrópicas associadas à expansão urbana e à infraestrutura costeira, os manguezais do município têm apresentado capacidade de manutenção e expansão espacial, possivelmente associada à dinâmica estuarina, à sedimentação e à reorganização morfológica das planícies de maré. Raposa, por sua vez, apresenta uma inclinação positiva também significativa, ainda que inferior à de São Luís, indicando um crescimento contínuo e consistente, coerente com os elevados ganhos relativos observados ao longo da série temporal.

Em contraste, São José de Ribamar e Paço do Lumiar exibem inclinações de Sen próximas de zero e estatisticamente não significativas, caracterizando um padrão de estabilidade de longo prazo. Esse comportamento não implica ausência de mudanças anuais, mas sim que os ganhos e perdas observados ao longo do período tendem a se compensar, resultando em um balanço líquido próximo da neutralidade. A coexistência, na mesma ilha, de municípios com crescimento significativo e outros estáveis evidencia que a dinâmica do manguezal não responde de forma uniforme às condições ambientais e antrópicas regionais, sendo fortemente modulada por fatores locais, como geomorfologia costeira, conectividade hidrodinâmica e uso do solo adjacente.

De forma integrada, a figura sintetiza um resultado central do estudo: o crescimento do manguezal na Ilha do Maranhão é real e estatisticamente robusto, mas espacialmente concentrado, com forte contribuição de São Luís e Raposa. Esse padrão ressalta a importância de análises multiescalares, nas quais a leitura agregada (TOTAL\_ILHA) é essencial para compreender a trajetória geral do sistema, enquanto a análise municipal revela contrastes fundamentais que seriam mascarados em abordagens exclusivamente globais. A combinação entre mapa e gráfico reforça visualmente essa interpretação,

permitindo associar magnitude de tendência, significância estatística e localização espacial em um único quadro analítico.

Os resultados obtidos para a Ilha do Maranhão indicam um crescimento líquido e estatisticamente significativo da área total de manguezal entre 1985 e 2024, ainda que marcado por forte variabilidade interanual e por contrastes espaciais entre municípios. Esse padrão é amplamente consistente com a literatura recente, que tem apontado que, embora os manguezais sejam ecossistemas historicamente pressionados, sua dinâmica espacial não é uniformemente caracterizada por perda contínua, especialmente em escalas regionais e locais.

O crescimento observado para a ilha, evidenciado pela inclinação positiva de Sen e pela predominância de anos com ganho líquido de área, está em consonância com estudos que demonstram estabilidade ou expansão de manguezais em partes da costa brasileira nas últimas décadas, particularmente em regiões dominadas por sistemas estuarinos, macromaré e elevada carga sedimentar, como o Norte e Nordeste do Brasil (MAPBIOMAS, 2023).

Trabalhos baseados em séries temporais longas de sensoriamento remoto indicam que, nesses contextos, processos naturais de sedimentação e progradação costeira podem compensar ou até superar perdas localizadas associadas à ocupação humana. A forte variabilidade interanual do ganho líquido de área, com ocorrência de anos extremos de ganho e perda, também é coerente com a literatura internacional, que descreve os manguezais como sistemas altamente dinâmicos, sensíveis a variações hidrossedimentares, eventos climáticos e reorganizações geomorfológicas de curta escala temporal (BARBIER, 2011).

Nesse sentido, o padrão de “crescimento por pulsos” identificado na Ilha do Maranhão reforça a importância de análises anuais e não apenas de comparações entre anos extremos ou médias de longo prazo.

Em escala municipal, a identificação de São Luís e Raposa como principais vetores do crescimento observado dialogam com estudos como o de Friess (2019) que mostram que a resposta dos manguezais às pressões antrópicas e às condições ambientais é fortemente dependente do contexto local.

Mesmo em áreas urbanizadas, como São Luís, a literatura reconhece que a expansão de manguezais pode ocorrer em zonas de planície de maré pouco ocupadas, canais estuarinos e áreas sujeitas à sedimentação acelerada, resultando em ganhos espaciais detectáveis por sensoriamento remoto. Esse comportamento desafia a narrativa simplificada de que urbanização costeira implica necessariamente perda contínua de manguezais, apontando para trajetórias mais complexas e não lineares.

Por outro lado, o padrão de estabilidade estatística observado em São José de Ribamar e Paço do Lumiar está alinhado com estudos que destacam que a ausência de tendência significativa não implica ausência de dinâmica, mas sim um equilíbrio de longo prazo entre ganhos e perdas, conforme discutidos em estudos publicados na *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (BARBIER, 2011).

Esse tipo de comportamento tem sido descrito em áreas onde restrições geomorfológicas, uso do solo consolidado ou menor conectividade hidrodinâmica limitam tanto a expansão quanto a retração do manguezal, resultando em séries temporais com oscilações anuais, porém sem direção monotônica persistente.

Do ponto de vista metodológico, a combinação entre inclinação de Sen, testes de Mann–Kendall com correção por autocorrelação (MK-TFPW) e teste de Pettitt segue boas práticas amplamente recomendadas na literatura para análise de tendências ambientais em séries temporais longas. Esses métodos são particularmente adequados para dados não paramétricos e com possível autocorrelação, características comuns em séries de cobertura da terra derivadas de sensoriamento remoto.

De forma integrada, os achados deste estudo reforçam a visão emergente de que os manguezais devem ser analisados como sistemas dinâmicos, espacialmente heterogêneos e sensíveis a múltiplos controles, nos quais tendências de longo prazo coexistem com elevada variabilidade interanual. Ao evidenciar crescimento significativo no conjunto da Ilha do Maranhão, mas estabilidade em parte dos municípios, o trabalho contribui para o refinamento da compreensão regional da dinâmica dos manguezais brasileiros e fornece subsídios relevantes para políticas de conservação que considerem tanto processos naturais quanto pressões locais.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho demonstram que a área de manguezal da Ilha do Maranhão apresentou crescimento líquido e estatisticamente significativo entre 1985 e 2024, embora esse comportamento não seja uniforme entre os municípios analisados. São Luís e Raposa configuram-se como os principais vetores desse crescimento, enquanto São José de Ribamar e Paço do Lumiar mantiveram um regime de relativa estabilidade, caracterizado por oscilações anuais que tendem a se compensar no longo prazo. Esses achados reforçam a noção de que os manguezais são sistemas dinâmicos e espacialmente heterogêneos, cuja resposta às pressões ambientais e antrópicas depende fortemente do contexto local.

A elevada variabilidade interanual observada, com anos de ganhos e perdas expressivos, indica que a análise de tendências de longo prazo deve ser acompanhada da avaliação das flutuações anuais, evitando interpretações simplificadas baseadas apenas em valores acumulados ou médias. A aplicação conjunta da inclinação de Sen, dos testes de Mann–Kendall com correção para autocorrelação e do teste de Pettitt mostrou-se adequada para capturar tanto a direção quanto a magnitude das mudanças observadas.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações associadas ao uso exclusivo dos dados do MapBiomias. Embora essa base represente uma das séries mais consistentes e abrangentes de uso e cobertura da terra no Brasil, seus dados derivam de classificações automáticas de sensoriamento remoto, estando sujeitos a incertezas relacionadas à resolução espacial, à confusão espectral entre classes e a possíveis erros de classificação, especialmente em ambientes costeiros altamente dinâmicos. Além disso, o MapBiomias não distingue processos ecológicos subjacentes, como regeneração natural, migração do manguezal ou impactos locais de ocupação humana.

Assim, os resultados apresentados devem ser interpretados como estimativas robustas em escala regional, mas que se beneficiariam da integração com dados de campo, imagens de maior resolução e análises geomorfológicas detalhadas, fortalecendo futuras avaliações sobre a dinâmica e a conservação dos manguezais da Ilha do Maranhão

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Elienê Pontes; JUNIOR, José Wilson Cavalcante Parente; ESPIG, Silvana Andreoli. Estudo das unidades de paisagem da Ilha do Maranhão: delimitação e dinâmica. **AnaisXII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Goiania, Brasil, 16-21 de Abril de 2005, INPE, p.2067-2069.

ALONGI, Daniel M. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. **Annual Review of Marine Science**, v. 6, n. 1, p. 195–219, 3 jan. 2014.

BANKO, Gebhard. **A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory**. Laxenburg, Áustria: IIASA: IR-98-081, 1998. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/5570/>. Acesso em: 20 jan. 2026

BARBIER, Edward B. *et al.* The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 2, p. 169–193, 2011.

BEZERRA, D. S. **O Ecossistema Manguezal em Meio Urbano no Contexto de Políticas Públicas de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Anil, São Luís, Maranhão**. 122f. Dissertação de mestrado. São Luís: Programa de Mestrado em Saúde e Ambiente /UFMA, 2008.

BEZERRA, Eric Rommel Ferro da Fonseca. Pontos extremos da Ilha do Maranhão: estudos preliminares do ensino de cartografia escolar por meio do Google Maps e Google Earth. **Pesquisa em Foco - Periódicos Uema**. v. 21, n. 1, p. 166-175. 2016. ISSN: 2176-0136. São Luís, 2016.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Programa de monitoramento da biodiversidade em manguezais**. Brasília: ICMBio, [2024?]. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/monitoramento/programas-de-monitoramento-da-biodiversidade-em-ucs/programa-de-monitoramento-em-ambientes-marinhos-e-costeiros/programa-de-monitoramento-da-biodiversidade-em-manguezais>. Acesso em: 23 jan. 2026.

BRATLEY, P.; FOX, L. B.; SCHRAGE, E. L. **A guide to Simulation**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1987.

BRITO, V. G; BEZERRA, D. S. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM NÚCLEOS URBANOS: UMA ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DE MANGUESAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS-MA. *In: Direito ambiental e socioambientalismo I*. Florianópolis: CONPEDI, 2017. p. 133-148. (XXVI Congresso Nacional do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito).

CARVALHO-NETA, R.N.F. CASTRO, A.C.L. (2008). Diversidade das assembléias de peixes estuarinos da Ilha dos Caranguejos, Maranhão. **Arquivo de Ciências do Mar**. Fortaleza, v.41 n. 1, p. 48-57, 2008.

CELERI, Márcio José *et al.* A cidade, o mangue e os resíduos sólidos: estudo de caso do Manguezal Vinhais, São Luís-MA/ The city, the mangue and the solid waste: The Vinhais Mangrove case in the city of São Luís-MA. **Geografia em Atos (Online)**, v. 3, n. 10, p. 163–186, 1 abr. 2019.

CORDOVIL, K.P.S. *et al.* Evolução e aplicações do sensoriamento remoto em estudos ambientais: uma revisão de literatura. *In*: JUNIOR, J.M.B.O.; VIEIRA, T.A. (org.). **Sociedade, Natureza e Desenvolvimento na Amazônia**. v.4, p. 75-99. Ponta Grossa: Atena, 2024.

FRIESS, D. A. *et al.* (2019). The state of the world's mangrove forests. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 44, p. 89–115, 2019.

GOMES, Conceição de Maria Teixeira. **Degradação ambiental urbana e qualidade de vida nas áreas de manguezais ocupadas por palafitas em São Luís-MA**. 2001. 69 f. (Dissertação de mestrado) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente – SP, 2001.

IDAJATI, H.; PAMUNGKAS, A.; KUKINUL, Vely, S. The level of participation in mangrove ecotourism development, Wonorejo Surabaya. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, [s.l.], v. 227, p. 515-520, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**: série manuais técnicos em geociências, n. 7. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=284783>. Acesso em: 13 nov. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base cartográfica do Brasil**. Escala 1:1000.000, versão [2022]. Coordenadas planas UTM, Fuso 23 N, Datum SIRGAS 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 20 nov. 2025.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio) - (Brasil). **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 179 p. Disponível em: [https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/atlas-1/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/atlas-1/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em: 10 ago. 2025.

JAFARBIGLU, H.; POURREZA, A. A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. **Computers and Electronics**

in **Agriculture**. [s.l.]: vol. 197, n. 23, p. 1-23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106844>.

KANNIAH, Kasturi *et al.* Satellite Images for Monitoring Mangrove Cover Changes in a Fast Growing Economic Region in Southern Peninsular Malaysia. **Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 14360-14385, 2015.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine Applications. **Remote Sensing**, v. 11, n. 5, p. 591, 2019.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MAPBIOMAS Project (2023). **Coleção 8 de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomass, 2023.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Manguezais da Ilha do Maranhão: Dinâmicas e serviços ecossistêmicos**. São Luís. Imesc, 2025.

MEDEIROS, Thereza Christina Costa. A degradação do manguezal do Igarapé do Jaracati, no estuário do Rio Anil, São Luís-MA: um estudo de caso. **Revista Interface**, Porto Nacional, n. 2, 2012. DOI: 10.20873/interface.v0i02.341.

MOCHEL, F. R. *et al.* Serviços ecossistêmicos de provisão de manguezais em um estuário modificado por barragem. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 01-21, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n12-118.

MOREIRA, J. F.; BRITO, I. S.; FARIAS FILHO, M. S. Ocupação desordenada sobre os manguezais da Ilha do Maranhão. *In*: FARIAS FILHO, M. S.; CELERI, M. J. (org.). **Geografia da Ilha do Maranhão**. São Luís: EDUFMA, 2015.

MUNIZ, Francisca Helena. Manguezais. *In*: NUNES, Jorge Luiz Silva; MENDONÇA, Maurício Araújo (org.). **Biodiversidade Marinha da Ilha do Maranhão**. São Luís: EDUFMA, 2013. 208 p. ISBN: 978-85-7862-293-0. cap. 2, pag. 37-44. Disponível em: <https://labaqua.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Biodiversidade-de-Marinha-da-Ilha-do-Maranhao.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

NUGRAHA, B.; BANUWA, I. S.; WIDAGDO, S. Perencanaan lanskap ekowisata hutan mangrove di Pantai Sari Ringgung Desa Sidodadi Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran. **Jurnal Sylva Lestari**, v. 3, n. 2, p. 53-66, 2015. DOI: <https://doi.org/10.23960/jsl2353-66>.

PAIVA, P. F. P. R. *et al.* Deforestation in protectareas in theAmazon: a threatto biodiversity. **BiodiversityandConservation**, v. 29, n. 1, p. 19–38, 16 jan. 2020.

PESSANHA, C.M.D.; JR, J.L.; FERREIRA, M.I.P. *et al.* The use of computational modeling applied to health and environmental management: a proposal to adapt the MOHID Water platform for lentic bodies applied to Imboacica Lagoon, Macaé, RJ, Brazil. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes RJ, 2011.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.

RIBEIRO, F.O. O uso do MapBiomas na análise de perda de vegetação natural e apoio a Legislação Florestal atual em Bragança (Pará). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.3, p.150-167, set. 2022

RIBEIRO, S.P. Geodiversidade e serviços ecossistêmicos de manguezais no complexo portuário de São Luís, Maranhão, Brasil. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, v. 5, n. 3, p. 1-14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v5n3.2024.650>.

SANTOS, N.M. *et al.* Identificação dos Serviços Ecossistêmicos prestados pelo manguezal da Ilha do Maranhão –MA, Brasil. **Revista REGNE**, v. 4, n. Número Especial, p. 250-268, 2018.

SANTOS, Camila Américo. **Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da evolução espaço-temporal da dinâmica vegetal do manguezal Barra de Guaratiba – RJ**. 2017. 52 f. TCC (Graduação) – Curso de Graduação em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2017.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (Org.). **Manguezais do Brasil**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da USP, 2018. 179 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (Org.). **Manguezal, conhecer para conservar**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1994. 45 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. 64 p.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SHRIVASTAVA, S. (2020, July 2). A Review of Spatial Big Data Platforms, Opportunities, and Challenges. <https://doi.org/10.1080/09747338.2020.1835564>.

SILVA, L. A. S. **Modelagem Geoambiental em Manguezais: Detecção de Áreas Contaminadas via Método Eletromagnético Indutivo no Baixo Subaé, Baía de Todos os Santos**. 2020. 228 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 3-27, 2020

VANIN, Gabriel Tofanelo. **Varição espaço-temporal de áreas ocupadas por manguezal e diferentes usos e coberturas da terra no Brasil entre 2000 e 2020**. 2023. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade de Ambientes Costeiros) – Universidade Estadual Paulista, São Vicente, 2023.

VIKOU, Sidney Vincent de Paul. *et al.* Análise da Pressão Antrópica sobre Manguezais Urbanos: Subsídios à Proteção Ambiental e ao Ordenamento Territorial. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, 2023. DOI: 10.14393/SN-v35-2023-67515.

YUE, S.; PILON, P. A comparison of the power of the t test, Mann–Kendall and bootstrap tests for trend detection. **Hydrological Sciences Journal**, v. 47, n. 1, p. 1–15, 2002.