O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VI | Volume 20 | Nº 60 | Boa Vista | 2024

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.14829541

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

ESTIMATIVA MULTITEMPORAL DE BIOMASSA EM MANGUEZAIS UTILIZANDO ÍNDICES MULTIESPECTRAIS

Ralph Wendel Oliveira de Araujo[1]

Ariston de Lima Cardoso[2]

Luiz Artur dos Santos da Silva[3]

Resumo

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais e subtropicais, caracterizado pela presença de árvores adaptadas à vida em ambientes salinos. Eles são reconhecidos por sua grande capacidade de reserva de biomassa, captação e armazenamento de carbono, implicando diretamente no combate aos efeitos das mudanças climáticas. Diante da importância dessa temática, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar, utilizando imagens orbitais, os dados de biomassa dos manguezais brasileiros frente à ação antrópica relativa ao período de 2016 a 2022. O estudo foi realizado na área de manguezal pertencente à Baía de Todos os Santos (BTS), situada no estado da Bahia, a BTS é notável por abrigar uma das mais extensas e ecologicamente importantes áreas de manguezais do Brasil. Diante dos resultados encontrados na pesquisa observou-se uma tendência geral de declínio na biomassa por hectare até 2020, seguida de uma recuperação significativa nos anos subsequentes, demonstrando a resiliência dos manguezais frente às variações climáticas e à pressão antrópica. A análise de correlação entre a biomassa e variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, não revelou correlações lineares significativas. Por fim, os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas robustas e ações de conservação eficazes para preservar os manguezais, que desempenham um papel vital na mitigação das mudanças climáticas e na manutenção da biodiversidade costeira.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Imageamento por Satélite; IRECI; SIG.

Abstract

Mangroves are tropical and subtropical coastal ecosystems characterized by the presence of trees adapted to life in saline environments. They are recognized for their great capacity to store biomass, capture, and store carbon, directly contributing to combating the effects of climate change. Given the importance of this topic, the general objective of this research was to evaluate, using orbital images, the biomass data of Brazilian mangroves in relation to anthropogenic action from 2016 to 2022. The study was conducted in the mangrove area of Todos os Santos Bay (BTS), located in the state of Bahia. BTS is notable for housing one of the most extensive and ecologically important mangrove areas in Brazil. The research results revealed a general trend of declining biomass per hectare until 2020, followed by significant recovery in the subsequent years, demonstrating the resilience of mangroves to climatic variations and anthropogenic pressure. The correlation analysis between biomass and climatic variables, such as precipitation and temperature, did not reveal significant linear correlations. Finally, the results reinforce the need for robust public policies and effective conservation actions to preserve mangroves, which play a vital role in mitigating climate change and maintaining coastal biodiversity.

Keywords: Geoprocessing; GIS; IRECI; Satellite Imaging.

[1] Mestrando em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). E-mail: ralpharaujo2015@gmail.com

[2] Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Doutor em Geociências. E-mail: ariston@ufrb.edu.br

[3] Doutorando em Mecatrônica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). E-mail: luiz.atr@ufrb.edu.br

INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais e subtropicais de grande relevância ecológica, caracterizados pela presença de árvores e arbustos adaptados a ambientes salinos, como os mangues. Esses ambientes desempenham um papel essencial como berçários e habitats para uma ampla diversidade de espécies, incluindo peixes, aves e crustáceos. Além disso, os manguezais atuam como barreiras naturais contra a erosão costeira, filtram poluentes e promovem a ciclagem de nutrientes, fornecendo serviços ecossistêmicos indispensáveis à manutenção da biodiversidade e da qualidade ambiental.

Do ponto de vista ambiental, os manguezais têm uma notável capacidade de acumular biomassa e capturar carbono, destacando-se como aliados importantes no combate às mudanças climáticas. Suas árvores e plantas associadas absorvem dióxido de carbono da atmosfera por meio da fotossíntese, armazenando-o tanto na biomassa quanto nos sedimentos, o que reforça seu papel como sumidouros de carbono. Estudos indicam que a eficiência de armazenamento de carbono pode variar conforme fatores como densidade da vegetação, saúde do ecossistema e condições climáticas locais. Assim, compreender e monitorar a dinâmica desses fatores é essencial para garantir a integridade funcional dos manguezais.

Apesar de sua relevância, os manguezais estão ameaçados por diversas atividades antrópicas, como desmatamento, urbanização costeira e poluição. Essas práticas comprometem sua capacidade de sequestrar carbono e exacerbam os impactos das mudanças climáticas. Nesse contexto, o uso de tecnologias avançadas, como geotecnologias e sensoriamento remoto, tem se mostrado uma solução eficiente para monitorar a saúde dos manguezais e estimar a biomassa de forma precisa e não invasiva.

A Baía de Todos os Santos, localizada no estado da Bahia, Brasil, é um exemplo emblemático de um ecossistema costeiro de grande importância. Reconhecida como a maior baía do Brasil e a segunda maior do mundo, sua área de aproximadamente 1.100 km² abrange uma diversidade de ecossistemas, incluindo extensos manguezais, fragmentos de Mata Atlântica e áreas abertas. No entanto, essa região também enfrenta desafios relacionados às pressões antrópicas, o que reforça a necessidade de estudos aprofundados sobre a dinâmica dos manguezais e suas interações com o ambiente.

A quantificação da biomassa em manguezais pode ser realizada por métodos diretos, que envolvem a coleta e pesagem de amostras, ou por métodos indiretos, que utilizam modelos alométricos e tecnologias como sensoriamento remoto. Com o avanço das ferramentas computacionais, imagens orbitais e índices espectrais, como o Índice de Clorofila de Borda Vermelha Invertida (IRECI), têm permitido uma análise mais precisa e eficiente da saúde vegetal e da biomassa acima do solo. Desenvolvido para uso com imagens do satélite Sentinel-2, o IRECI se destaca pela capacidade de

mensurar diretamente o teor de clorofila, sendo amplamente aplicado tanto no monitoramento agrícola quanto no estudo de ecossistemas naturais.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a biomassa dos manguezais na Baía de Todos os Santos, considerando os impactos de atividades antrópicas no período de 2016 a 2022. Este trabalho está estruturado a partir desta seção introdutória, que trata da apresentação do problema. A seguir, o Referencial Teórico revisa os manguezais e abordagens para a quantificação de biomassa, fornecendo a base conceitual necessária. O Percurso Metodológico descreve em detalhes o método adotado para a obtenção dos resultados. Na seção de resultados, são apresentados e discutidos os dados de biomassa dos manguezais localizados na Baía de Todos os Santos frente à ação antrópica relativa ao período de 2016 a 2022. Por fim, as Conclusões sintetizam os achados, propondo direções para a agenda de futuras pesquisas.

OS MANGUEZAIS

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais e subtropicais formados por comunidades vegetais adaptadas a condições de salinidade elevada, inundações periódicas e solos alagadiços. Esses ambientes, presentes em regiões de transição entre os meios terrestre e marinho, desempenham papel essencial na dinâmica ecológica costeira (ICMBIO, 2018).

A vegetação é composta por diversas espécies de mangue, entre elas: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, que apresentam adaptações morfofisiológicas únicas, incluindo raízes respiratórias e mecanismos de excreção de sal (CARVALHO; JARDIM, 2017). Este ecossistema desempenha um papel ecológico diverso e está associado à prestação de serviços ecossistêmicos críticos, como a captura e armazenamento de carbono, a proteção contra a erosão costeira, a ciclagem de nutrientes e o suporte à biodiversidade (ICMBIO, 2018).

Estudos recentes destacam que os manguezais são capazes de armazenar mais carbono por unidade de área do que qualquer outro ecossistema, consolidando-se como importantes aliados no combate às mudanças climáticas (ALONGI, 2020). Além disso atuam como berçário para diversas espécies marinhas, incluindo peixes e crustáceos, cuja presença está diretamente ligada à segurança alimentar e ao sustento econômico de diversas comunidades locais que dependem da pesca (SILVA, *et al*. 2022). As áreas com manguezais apresentam maior produtividade pesqueira em comparação às regiões sem essa vegetação, evidenciando sua importância para a subsistência e economia costeira (NAGELKERKEN, 2009).

Do ponto de vista econômico, os manguezais apresentam uma relevância significativa para as

comunidades costeiras, servindo como fonte de renda para milhares de famílias ao redor do mundo. (SALEM; MERCER, 2012; RIZAL; SAHIDIN; HERAWATI, 2018; HIMES-CORNELL; GROSE; PENDLETON, 2018). A quantificação precisa deste valor econômico, todavia, é complexa e varia substancialmente conforme a região e as metodologias de avaliação empregadas. Diversos estudos demonstram uma grande variação de valores, refletindo a diversidade de serviços ecossistêmicos oferecidos e a heterogeneidade socioeconômica das áreas costeiras (VO *et al*., 2012; VEGH *et al*., 2014).

A dependência econômica de muitas comunidades na extração de recursos dos manguezais, como a pesca e a coleta de crustáceos, precisa ser considerada na avaliação do valor econômico total desses ecossistemas (RIZAL; SAHIDIN; HERAWATI, 2018). A avaliação completa e determinação do valor econômico dos manguezais exige a consideração de múltiplas dimensões, incluindo o valor de mercado de produtos como frutos do mar, produtos e serviços como a proteção costeira e o sequestro de carbono (VO *et al*., 2012; JAKOVAC *et al*., 2020; MITRA, 2020; FRIESS, 2016).

A ausência de uma estimativa global única e consensual destaca a necessidade de pesquisas mais abrangentes e comparáveis para uma compreensão mais precisa do impacto econômico dos manguezais em escala global (LAL, 2003; SALEM; MERCER, 2012).

Hussain e Badola (2010) em seu estudo estima que o valor dos produtos coletados por famílias que dependem desses ecossistemas seja significativo, alcançando cerca de US$ 107 por ano por família. Além disso, as florestas de mangue não apenas oferecem recursos diretos, como madeira e produtos pesqueiros, mas também desempenham um papel crucial na proteção contra desastres naturais e na mitigação das mudanças climáticas, funcionando como sumidouros de carbono (SOPER, *et al*., 2019).

Estudos recentes indicam que a capacidade de armazenamento de carbono dos manguezais pode variar significativamente dependendo de fatores como a saúde do ecossistema, a densidade da vegetação e as condições climáticas locais. Esses fatores influenciam diretamente a eficiência dos manguezais na captura e estocagem de carbono, o que destaca a importância de monitorar constantemente esses ecossistemas por meio de tecnologias avançadas, como o sensoriamento remoto (ADAME *et al*., 2020).

Entretanto, a degradação dos manguezais por atividades antrópicas, como desmatamento e urbanização costeira, pode reduzir drasticamente a capacidade desses ecossistemas de sequestrar carbono, o que agrava os efeitos das mudanças climáticas globais (AKRAM *et al*., 2023).

Na Bahia de Todos os Santos, situada no estado da Bahia, com abrangência de aproximadamente 1.100 km² de área e 200 km de perímetro (ICMBIO, 2018). Há uma vasta gama de ecossistemas costeiros, que são fundamentais para o desenvolvimento dos municípios mais significativos da Bahia, integrantes do chamado Recôncavo Baiano, incluindo a capital do estado. Predominantemente formada

por manguezais, se entre eles os da Baía do Iguape, da contra-costas da Ilha de Itaparica e os da foz do rio Subaé. Observam-se, também, fragmentos de Mata Atlântica e áreas sem vegetação (SOUZA *et al*., 2023).

Monitorar e avaliar o comportamento da vegetação e do ecossistema de mangue se torna essencial para o entendimento dessas áreas, sendo possível a avaliação por diversos métodos de determinação, podendo estes serem por meio in situ e via satélite.

Determinar e coletar dados em regiões de manguezal de forma tradicional é um processo complexo, especialmente devido às particularidades regionais. A quantificação da biomassa em formações vegetais pode ser feita por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos envolvem a remoção total e pesagem de todas as partes da planta, sendo destrutivos e impraticáveis para grandes áreas devido ao alto custo, tempo e impacto ambiental. Os métodos indiretos utilizam técnicas alométricas para correlacionar a biomassa ou carbono, oferecendo uma alternativa menos invasiva (VIEGAS *et al*., 2019).

Diante disso, com o avanço da tecnologia, ferramentas como as de geotecnologias, recursos computacionais, imagens orbitais e índices espectrais de vegetação, têm permitido a otimização na quantificação e estimativa de biomassa acima do solo em florestas tropicais, assim como os manguezais (BALOLOY *et al*., 2018; SHAO; ZHANG, 2016).

METODOLOGIAS PARA COLETA E QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA *IN LOCO*

O monitoramento da biomassa em ecossistemas de manguezal é crucial para entender sua dinâmica ecológica, capacidade de sequestro de carbono e respostas a mudanças ambientais. Métodos *in loco* fornecem dados detalhados, embora exijam mais recursos e esforço que métodos remotos (ALONGI, 2014).

A metodologia de análise *in loco*, envolve amostragem, medições dendrométricas e análises laboratoriais para estimar a biomassa total, acima e abaixo do solo. A análise adequada dos dados e a quantificação das áreas de vegetação de manguezal são essenciais para compreender a heterogeneidade espacial desse ecossistema, o que, por sua vez, pode influenciar o delineamento amostral (tamanho e número de parcelas) necessário para garantir a representatividade dos dados (AMARO; ROCHA JÚNIOR, 2012).

A coleta de dados dendrométricos (DAP, altura total e altura da copa) é fundamental para estimar a biomassa individual de cada árvore. Equações alométricas, que relacionam variáveis dendrométricas

com a biomassa, são usadas para extrapolar para a população total em cada parcela (MIRANDA; MELO; SANQUETTA, 2011).

A escolha da equação adequada é essencial para a estimativa de biomassa, devendo considerar as espécies presentes e, idealmente, ser calibrada com dados locais ou com equações desenvolvidas especificamente para a região e as espécies em estudo. Estudos demonstram que modelos alométricos estratificados por ritmo de crescimento das espécies (rápido, médio, lento) apresentam maior precisão, com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,95 e erros percentuais reduzidos (MIRANDA; MELO; SANQUETTA, 2011).

A estimativa da biomassa total requer a coleta de amostras representativas das diferentes partes das árvores, como raízes, tronco e copa, refletindo a composição florística da área estudada. Métodos destrutivos, incluindo a separação de compartimentos e pesagem em dinamômetros, são essenciais para garantir representatividade (TORRES *et al*., 2015). Para o cálculo da biomassa, as amostras são geralmente pesadas após secagem em estufa a 70°C até atingirem peso constante, conforme protocolos aplicados em estudos no Cerrado e Florestas Estacionais (OLIVEIRA *et al*., 2011).

A biomassa estimada em cada parcela é extrapolada para a área total, considerando a área de cada parcela e o número total de parcelas amostradas. Este processo introduz uma margem de erro associada à representatividade da amostragem. Técnicas estatísticas são essenciais para estimar a variabilidade e incerteza, garantindo a confiabilidade dos resultados. O método de amostragem (aleatório, sistemático ou estratificado) impacta diretamente na precisão e representatividade (RIBEIRO, 2007).

Apesar da precisão, métodos *in loco* exigem tempo, recursos e mão de obra especializada. A coleta de amostras pode ser destrutiva, impactando o manguezal. O acesso a áreas de manguezal pode ser limitado, restringindo a aplicação desses métodos. A complexidade da estrutura dos manguezais, com diferentes espécies e micro-habitats, exige planejamento cuidadoso e adaptação das metodologias para garantir a representatividade dos dados (SILVA, 2018).

Os métodos tradicionais de coleta e quantificação de biomassa apresentam limitações significativas, como alto custo, impacto ambiental e baixa viabilidade em estudos de larga escala. Os métodos diretos, por exemplo, envolvem a remoção e pesagem da vegetação, o que pode ser destrutivo e inviável para regiões extensas (VIEGAS *et al*., 2019).

Desta forma observa-se que a quantificação da biomassa *in loco* em manguezais é um processo complexo, necessitando de planejamento cuidadoso e técnicas adequadas. A escolha da metodologia ideal depende de objetivos, recursos e características do manguezal. A combinação de métodos e o uso de equações alométricas apropriadas são essenciais para estimativas precisas e confiáveis da biomassa,

contribuindo para um melhor entendimento da ecologia, conservação e manejo desses ecossistemas (TAVARES *et al*,. 2022).

METODOLOGIAS PARA QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO

A utilização de imagens multiespectrais desempenha um papel crucial na quantificação de biomassa, especialmente devido à sua capacidade de realizar análises temporais. Satélites como Sentinel-2, LandSat e PlanetScope fornecem imagens periódicas de alta qualidade, possibilitando o monitoramento contínuo da vegetação em intervalos regulares (PHAM, *et al*. 2019). Essa abordagem multitemporal permite avaliar mudanças sazonais, impactos de eventos climáticos extremos e efeitos de atividades humanas sobre a biomassa, contribuindo para uma melhor gestão ambiental e planejamento. Conforme destacado por Baloloy *et al*. (2018), as análises multiespectrais desses satélites possibilitam a criação de modelos preditivos precisos para a estimativa de biomassa acima do solo, integrando dados de campo, índices de vegetação e variáveis biofísicas para análises complexas.

Por meio das imagens obtidas a partir do sensoriamento remoto, é possível extrair dados importantes utilizando índices de vegetação, que são fórmulas matemáticas baseadas em combinações de diferentes bandas espectrais. Esses índices, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index), são amplamente utilizados para estimar a densidade de cobertura vegetal, avaliar o vigor das plantas, monitorar a saúde da vegetação e mapear áreas de cultivo. Conforme discutido por Tran *et al*. (2022), esses índices oferecem alta sensibilidade para detectar características espectrais específicas e têm sido essenciais para análises espaciais e temporais em diversos ecossistemas, incluindo áreas de manguezais, devido à sua capacidade de destacar variações na vegetação com precisão.

A utilização de índices espectrais, como NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), EVI (Índice de Vegetação Melhorado), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e IRECI (Índice de Clorofila de Borda Vermelha Invertida), tem se mostrado fundamental para análises detalhadas de monitoramento ambiental e agrícola. A escolha do índice mais adequado varia conforme o objetivo do estudo, o tipo de vegetação analisada e as condições ambientais da área de interesse (ARAUJO; SILVA; CARDOSO, 2023).

Estudos como os de Tran, Reef e Zhu (2022) destacam a importância do uso de índices espectrais para monitorar ecossistemas, estimar variáveis biofísicas e compreender os impactos cumulativos das mudanças climáticas e das atividades antrópicas. Por outro lado, Leivas *et al*. (2022)

demonstraram que o IRECI, aliado a outros índices, é especialmente eficaz em análises temporais, permitindo monitorar a dinâmica da vegetação em ecossistemas tropicais e identificar períodos críticos do ciclo agrícola.

A integração de múltiplos índices em análises multitemporais, associada à alta frequência de aquisição de dados por satélites como Sentinel-2A, LandSat e MODIS, tem ampliado significativamente as possibilidades de acompanhamento e gestão das culturas. Essas abordagens fornecem insights valiosos não apenas sobre o desenvolvimento das culturas, mas também sobre os processos ecológicos em larga escala, criando uma base sólida para decisões informadas e intervenções rápidas e eficazes na gestão ambiental (TRAN; REEF; ZHU, 2022; LEIVAS *et al*., 2022).

O Índice de Clorofila de Borda Vermelha Invertida (IRECI), desenvolvido por Frampton *et al*. em 2013, foi elaborado para uso com imagens do satélite Sentinel-2, utilizando as bandas do vermelho, red-edge e infravermelho próximo (NIR). Este índice permite calcular diretamente o teor de clorofila do dossel em g/m², crucial para monitorar a saúde vegetal e a gestão agrícola. Além da agricultura, o IRECI também é aplicável ao estudo de ecossistemas naturais e ao monitoramento de mudanças ambientais, oferecendo uma detecção precisa das variações no estado fisiológico das plantas e facilitando intervenções mais eficientes (FRAMPTON *et al*., 2013; LEIVAS *et al*., 2022).

A agilidade na obtenção e análise de dados proporcionada pelas imagens multiespectrais é um fator essencial que reforça sua relevância em diversos contextos. Métodos tradicionais, como inventários florestais, demandam operações extensas em campo, frequentemente demoradas e caras. Por outro lado, o sensoriamento remoto permite a coleta e análise de dados em questão de dias, possibilitando decisões estratégicas mais rápidas e eficazes para planejamento agrícola, gestão de recursos naturais e resposta a emergências ambientais, como incêndios florestais e inundações (KUMAR; MUTANGA, 2017; FABRE *et al*., 2020).

As tecnologias baseadas em imagens multiespectrais, aliadas à utilização de índices como o IRECI, oferecem ferramentas indispensáveis para o monitoramento ambiental. Estudos mostram que o IRECI tem se destacado na identificação de mudanças temporais e espaciais em ecossistemas, particularmente em áreas com estresses ambientais, como poluição e mudanças climáticas (FABRE *et al*., 2020; MALEKI *et al*., 2022). A capacidade dessas tecnologias de realizar análises temporais, fornecendo dados em tempo hábil, contribui significativamente para a conservação de ecossistemas, a mitigação de impactos ambientais e a formulação de políticas públicas eficazes, fortalecendo o entendimento dos processos ecológicos e o gerenciamento de recursos naturais (MALEKI *et al*., 2022; KUMAR; MUTANGA, 2017).

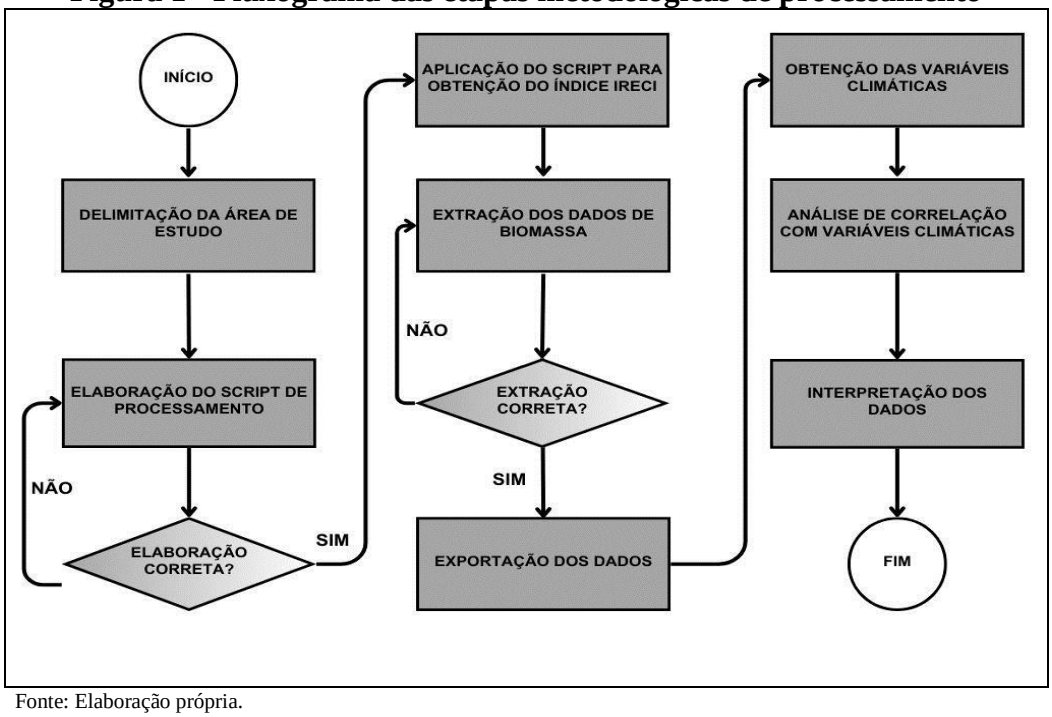
Dessa forma percebe-se que o uso de imagens multiespectrais e índices de vegetação consolida-

se como uma ferramenta essencial para o monitoramento ambiental e a gestão de recursos naturais. Ao integrar alta resolução temporal e espacial com a capacidade de realizar análises multitemporais, essas tecnologias não apenas otimizam o processo de coleta de dados, mas também ampliam o entendimento dos impactos ambientais e ecológicos em diferentes escalas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi necessário seguir etapas criteriosas que garantiram a obtenção de dados de forma exitosa e precisa. O fluxograma abaixo resume as principais etapas desenvolvidas ao longo do estudo, desde a delimitação da área de estudo até a análise estatística dos dados.

Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas de processamento



Fonte: Elaboração própria.

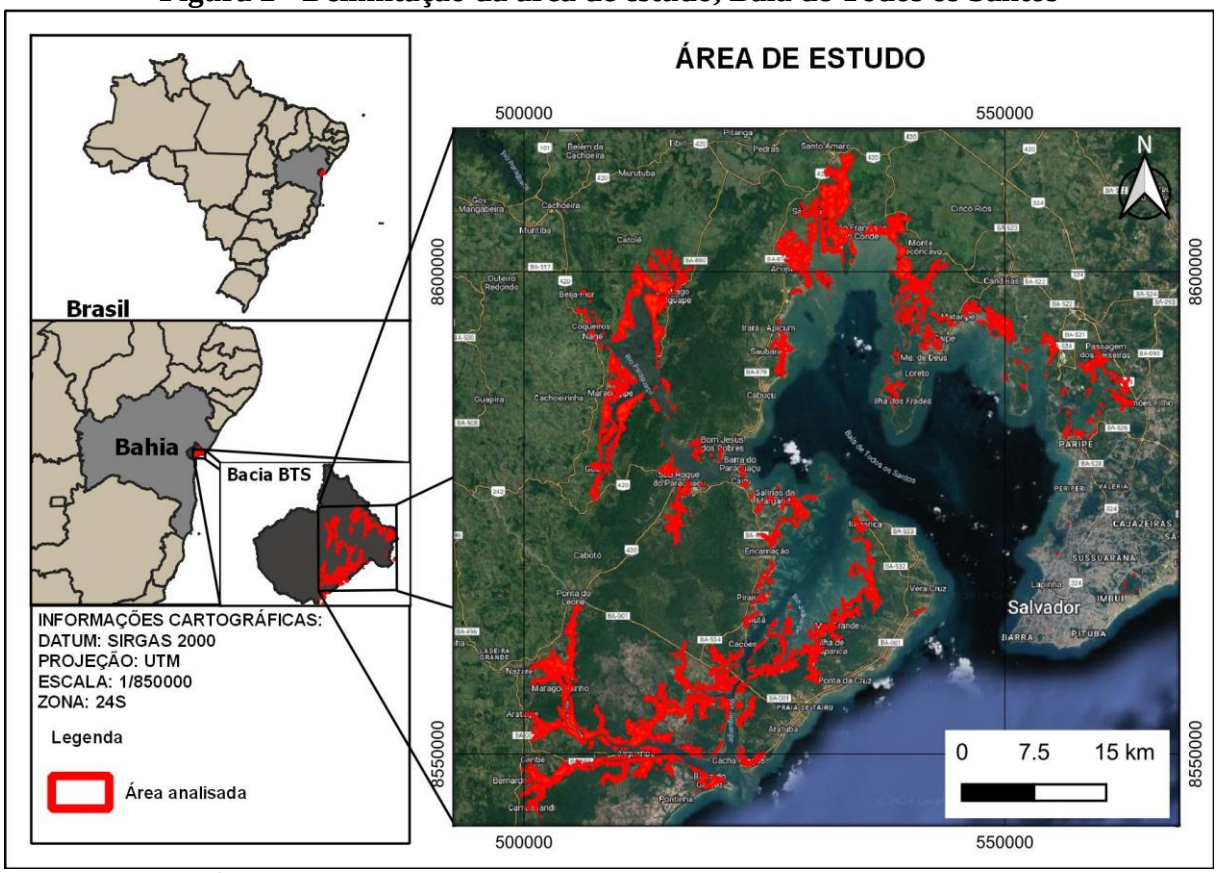
A seguir, as etapas apresentadas neste fluxograma serão descritas de forma detalhada a fim de proporcionar entendimento geral a respeito das metodologias utilizadas no presente trabalho.

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na área de manguezal pertencente à Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 2). Situada no estado da Bahia, a BTS é notável por abrigar uma das mais extensas e

ecologicamente importantes áreas de manguezais do Brasil. Esses manguezais ocupam uma posição estratégica ao longo do litoral da maior baía do país e segunda maior do mundo, incluindo várias ilhas internas.

Figura 2 - Delimitação da área de estudo, Baía de Todos os Santos



Fonte: Elaboração própria.

A área de mangue é nutrida por uma rede de rios, com destaque para os rios Paraguaçu e Subaé, que são essenciais para o transporte de nutrientes que sustentam os densos ecossistemas de mangue (JESUS *et al*., 2015). Esses manguezais são lar de uma diversidade notável de vida selvagem, servindo como habitat crítico para muitas espécies marinhas e terrestres, incluindo peixes, crustáceos, moluscos e aves migratórias, além de serem áreas vitais de reprodução e berçário para diversas espécies que são fundamentais para a pesca local (SOUZA *et al*., 2023).

AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

O perímetro de delimitação da área de manguezal utilizado nesta análise foi obtido com base na classificação de uso e ocupação do solo do *MapBiomas*, que dispõe de um acervo completo ao longo dos anos, sendo utilizada a coleção 7.0. Desta forma, foram utilizados os perímetros relacionados aos anos

entre 2016 e 2022.

As imagens multiespectrais utilizadas foram obtidas através da biblioteca de imagens temporais do satélite Sentinel-2. Para acesso aos dados, foi utilizada a plataforma de processamento em nuvem da *Google*, o *Google Earth Engine* (GEE). O *script* de processamento se baseia na utilização de imagens obtidas pelo satélite *Sentinel-2* no período de cada ano estudado, sendo aplicado filtro de imagens com baixo percentual de cobertura por nuvens. Além disso, incluiu-se no script um algoritmo de remoção de pixels com nuvens, visando assegurar dados que representem o comportamento da área de mangue estudada.

Após a remoção dos pixels com nuvem e determinação da área a ser estudada, foi aplicada a equação do índice IRECI, que utiliza as bandas do satélite que correspondem às faixas: Vermelho, *RedEdge* 1, *RedEdge* 2 e Infravermelho Próximo. Utilizou-se a seguinte equação para determinação do índice:

(1) $$IRECI = \frac{NIR - RED}{\frac{RED\ EDGE\ 1}{RED\ EDGE\ 2}}$$

Com os dados aplicados pelo índice na plataforma do *Google Earth Engine*, estes foram exportados para o *software* QGIS versão 3.28.10 para análise e determinação da biomassa.

Após a determinação do índice para toda a área e todos os anos avaliados, foi aplicada a equação proposta por Jesus (2019), que determina a Biomassa Acima do Solo (AGB) com base no índice de vegetação extraído:

(2) $$AGB = -258{,}4824 + 1{,}0748\ X;$$

Onde:

AGB = Biomassa acima do solo;
X = Valor calculado do índice de vegetação IRECI.

O resultado é apresentado em kg/parcela, sendo convertido em toneladas/hectare. Após a extração dos dados de biomassa para os anos estudados, estes foram compilados para proporcionar melhor compreensão e avaliação dos dados. Em seguida, foi realizada uma avaliação descritiva dos dados e uma correlação de Pearson com variáveis climáticas, incluindo pluviosidade, para avaliar possíveis correlações.

Os dados de precipitação e temperatura utilizados foram obtidos através da estação meteorológica A401, que está posicionada na cidade de Salvador, na latitude -13,005515, longitude -38,505760 e altitude de 47,56 metros. Foi aplicado filtro para os dados de precipitação e temperatura média ano a ano para o período de 2016 a 2022.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados da tabela 1, foi observado uma variação da área e da biomassa dos manguezais na Baía de Todos os Santos entre os anos de 2016 e 2022. Observa-se que a área de mangue tem pequenas flutuações ao longo dos anos, enquanto a biomassa por hectare mostra uma tendência geral de declínio durante o mesmo período, com uma notável recuperação nos dois últimos anos registrados.

Inicialmente, entre 2016 e 2020, há uma redução significativa na biomassa por hectare, que pode ser atribuída a uma série de fatores ambientais e antrópicos. Os principais fatores que ameaçam os manguezais incluem o desenvolvimento costeiro, a expansão da aquicultura, o desmatamento, mudanças climáticas e outras implicações associadas como eutrofização, doenças e poluição. Os desafios para a gestão eficaz dos manguezais também envolvem conflitos de uso da terra, a falta de ações regulatórias rigorosas, políticas governamentais inadequadas e baixa conscientização da comunidade afetando adversamente a produtividade dos manguezais (AKRAM *et al*., 2023).

Tabela 1 - Dados de variação da área e da biomassa para o manguezal pertencente à Baía de Todos os Santos

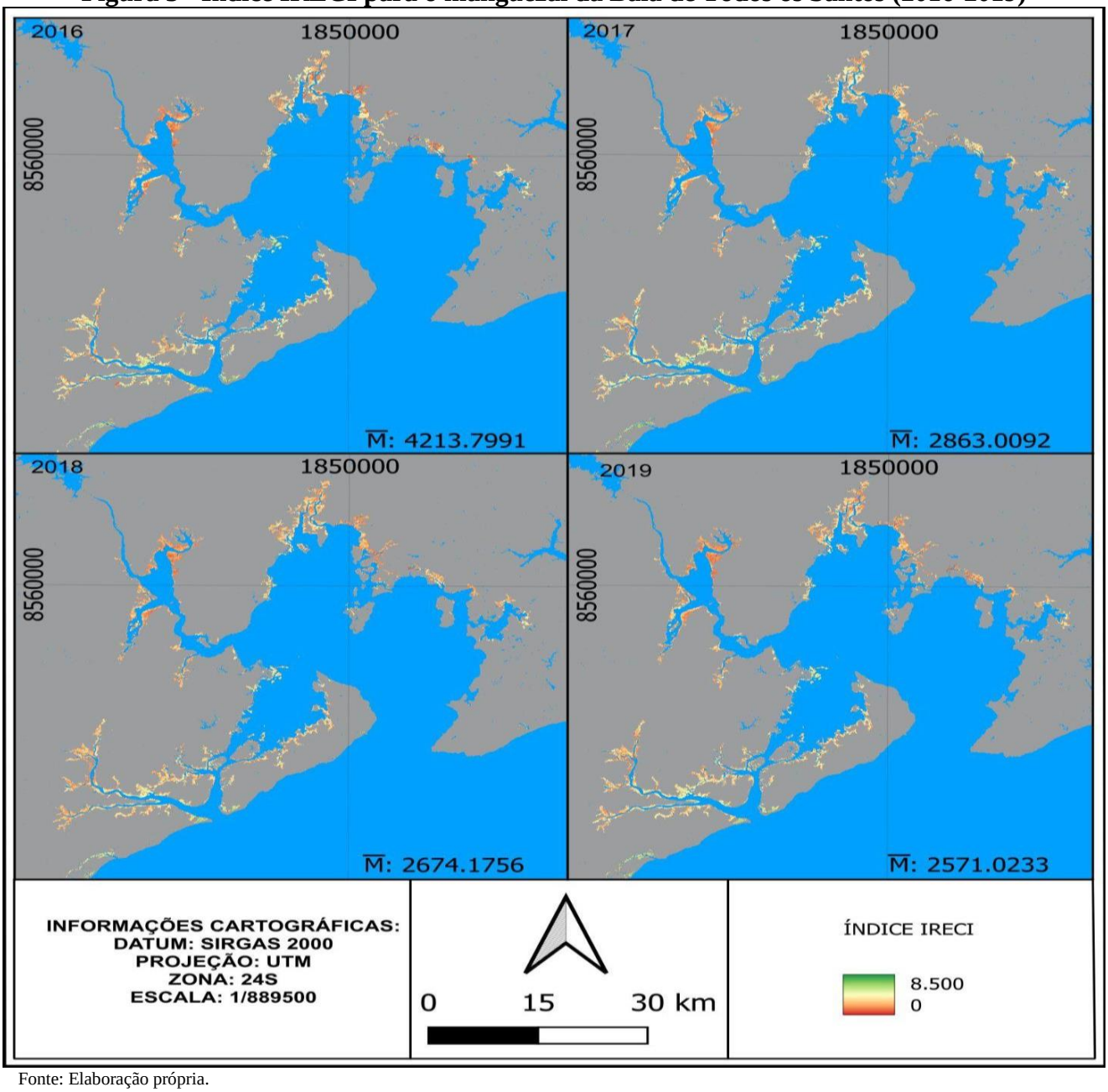
Ano	Área (ha)	Biomassa Total (t)	Biomassa (t/ha)
2016	15.371,05	1.596.417,02	103,86
2017	15.283,72	1.424.524,89	93,21
2018	15.289,39	1.204.447,80	78,78
2019	15.316,16	1.242.484,37	81,12
2020	15.346,11	1.121.191,17	73,06
2021	15.438,89	1.572.872,74	101,88
2022	15.064,07	1.429.339,98	94,88

Fonte: Elaboração própria.

Com base na estatística descritiva foram obtidos os seguintes dados: Máximo 103,86 t/ha; Mínimo: 73,06 t/ha e médio de 89,54 t/ha. Trabalhos como o de Jesus (2019) encontraram valor de

biomassa médio para o manguezal pertencente a baía de todos os santos de 98,25 t/ha, enquanto o trabalho realizado por Hutchison *et al*. (2014) estimou valor médio de Biomassa para o brasil de 168,7 T/ha demonstrando que os dados de biomassa apresentam similaridade para a análise e variam em detrimento a fatores ambientais, características de vegetação e variáveis climáticas.

Figura 3 - Índice IRECI para o manguezal da Baía de Todos os Santos (2016-2019)

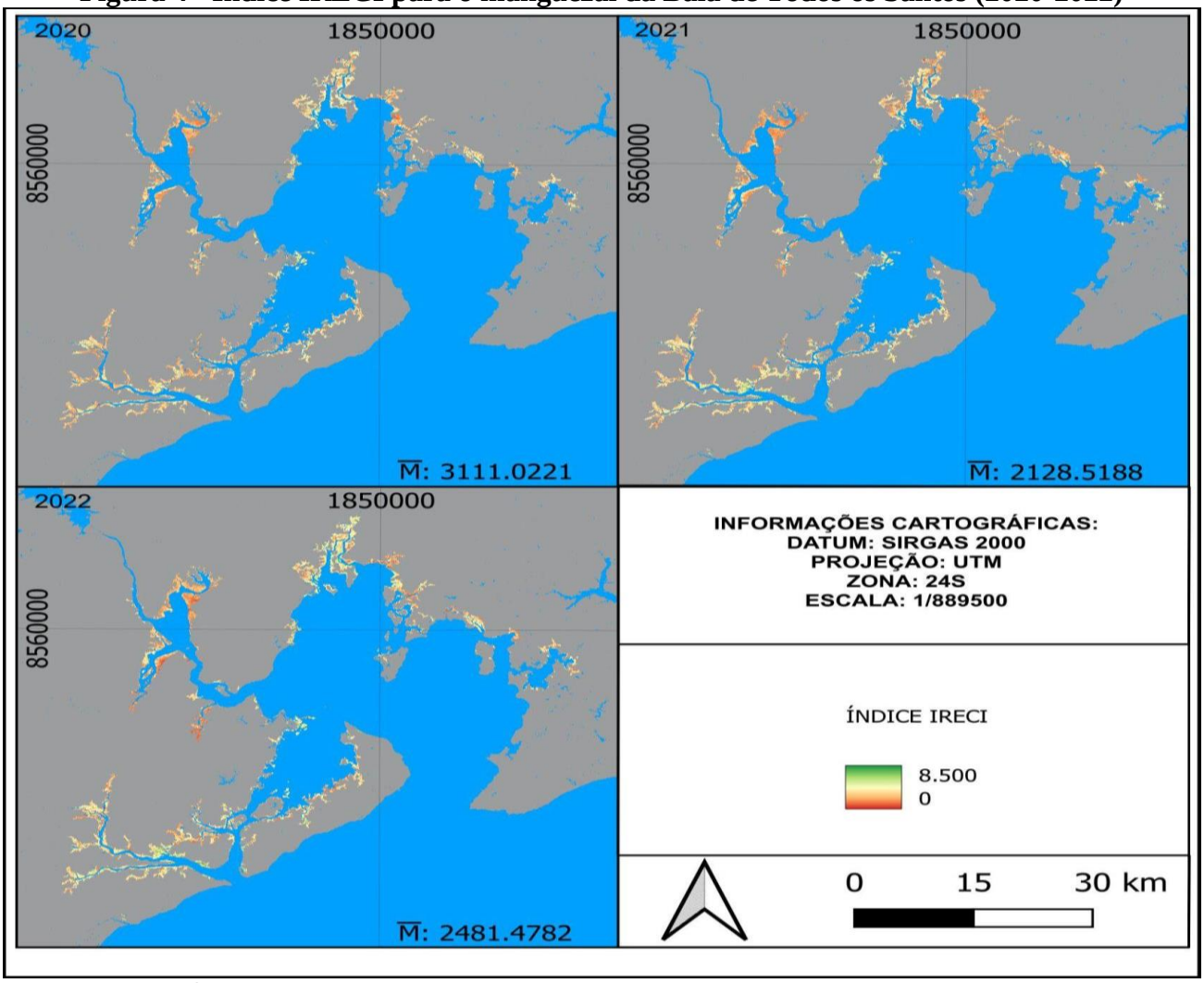


Fonte: Elaboração própria.

As figuras 3 e 4 apresentam as áreas de manguezal pertencentes à Baía de Todos os Santos, sendo aplicado falsa cor para expressar os resultados do índice IRECI demonstrando a variação da biomassa e da condição dos manguezais para o período de 2016 a 2022. O índice IRECI (Índice de

clorofila de borda vermelha invertida) é usado para monitorar a saúde da vegetação, incluindo manguezais, indicando variações na densidade, atividade fotossintética, sanidade e produção de biomassa da vegetação ao longo do tempo.

Figura 4 - Índice IRECI para o manguezal da Baía de Todos os Santos (2020-2022)



Fonte: Elaboração própria.

O Índice varia de 0 a 8.500, onde valores mais altos indicam uma cobertura vegetal mais densa e saudável. Observa-se nas imagens uma flutuação na intensidade de verde (representando áreas de alta densidade e atividade fotossintética) ao longo dos anos. De 2016 a 2022, houveram períodos de recuperação e declínio na saúde dos manguezais.

Anos específicos como 2020 e 2021 mostram uma maior predominância de áreas verdes, indicando possível melhoria na saúde e produção de biomassa dos manguezais nesses períodos. As variações no índice podem ser influenciadas por fatores ambientais, como precipitação e temperatura, além de atividades humanas, como a urbanização e a agricultura. As áreas de cor laranja e vermelha

podem indicar regiões onde os manguezais estão mais degradados ou onde há menos vegetação. A precisão dessas tecnologias permite uma identificação detalhada das áreas mais afetadas e das mais resilientes, fornecendo uma base sólida para intervenções direcionadas e eficazes (SAHANA *et al*., 2022).

Os dados meteorológicos obtidos pela estação A401 foram tabulados e apresentados juntamente com os dados de biomassa média para os anos avaliados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Dados meteorológicos e de biomassa para os anos de 2016 a 2022, Baía de Todos os Santos

Ano	Biomassa (t/ha)	Precipitação (mm)	Temp. Média (°C)
2016	103,86	1.110,00	26,17
2017	93,21	1.597,20	25,62
2018	78,78	1.289,80	25,84
2019	81,12	1.855,40	26,22
2020	73,06	2.265,00	25,88
2021	101,88	2.147,40	25,59
2022	94,88	1.915,60	25,56

Fonte: Elaboração própria.

Foi realizado o teste de correlação de Pearson entre as variáveis biomassa e precipitação, obtendo uma correlação de -0,2715 e um p-valor de 0,5559. Avaliou-se também a correlação entre a variável biomassa e temperatura média, obtendo uma correlação de -0,2316 e um p-valor de 0,6172. Com base nos dados analisados de 2016 a 2022, foi observado que não há correlações lineares significativas entre a biomassa x precipitação e biomassa x temperatura média. Embora algumas correlações negativas tenham sido observadas, elas não são fortes o suficiente nem estatisticamente significativas para serem consideradas robustas.

A análise de dados de *grasslands* na Mongólia Interna revelou que a pluviosidade afeta significativamente tanto a biomassa acima do solo (AGB) quanto abaixo do solo (BGB). Os resultados mostram que o aumento na pluviosidade está correlacionado com incrementos na biomassa, sugerindo que a água é um fator limitante crucial no crescimento vegetal nessas regiões (KANG *et al*., 2013).

Por outro lado, a análise de meta-dados globais sobre florestas mostrou que, enquanto a área basal das árvores é um determinante robusto da biomassa acima do solo, a temperatura e a pluviosidade também desempenham funções reguladoras significativas (MA *et al*., 2023). A biomassa é influenciada por variações climáticas, incluindo a temperatura e a pluviosidade, sugerindo que as mudanças

climáticas podem alterar significativamente a capacidade das florestas de sequestrar carbono.

CONCLUSÃO

O estudo apresentado utilizou técnicas avançadas de geotecnologia e sensoriamento remoto para avaliar a biomassa dos manguezais na Baía de Todos os Santos entre os anos de 2016 e 2022. Os resultados obtidos evidenciam a importância dessas tecnologias no monitoramento ambiental, permitindo uma análise precisa e eficiente da variação temporal e espacial da biomassa. Observou-se uma tendência geral de declínio na biomassa por hectare até 2020, seguida de uma recuperação significativa nos anos subsequentes, demonstrando a resiliência dos manguezais frente às variações climáticas e à pressão antrópica.

A aplicação do Índice de Clorofila de Borda Vermelha Invertida (IRECI) permitiu a avaliação detalhada da saúde dos manguezais, indicando flutuações na densidade e na atividade fotossintética ao longo dos anos. Esses dados são cruciais para a gestão e conservação dos manguezais, fornecendo informações valiosas para intervenções direcionadas que visam a proteção e a recuperação dessas áreas.

A análise de correlação entre a biomassa e variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, não revelou correlações lineares significativas. No entanto, a literatura indica que mudanças climáticas podem afetar significativamente a capacidade das florestas de sequestrar carbono, sugerindo a necessidade de estudos contínuos e de longo prazo para melhor compreensão dessas interações complexas.

Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas robustas e ações de conservação eficazes para preservar os manguezais, que desempenham um papel vital na mitigação das mudanças climáticas e na manutenção da biodiversidade costeira. A utilização de geotecnologias e sensoriamento remoto deve ser continuamente incentivada e aprimorada, pois oferece um meio poderoso para monitorar e gerir ecossistemas frágeis e de grande importância ecológica.

REFERÊNCIAS

ADAME, M. F. *et al*. “Future carbon emissions from global mangrove forest loss”. **Global Change Biology**, vol. 27, n. 12, 2021.

AKRAM, H. *et al*. “Mangrove Health: A Review of Functions, Threats, and Challenges Associated with Mangrove Management Practices”. **Forests**, vol. 14, n. 9, 2023.

ALONGI, D. M. “Carbon sequestration in mangrove forests”. **Carbon Management**, vol. 3, n. 3, 2014.

ALONGI, D. M. “Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation”. **Sci**, vol. 2, n. 3, 2020.

AMARO, V. E.; ROCHA JÚNIOR, J. M. “Avaliação ecológico-econômica do manguezal na foz do rio Açu/RN: o sequestro de carbono e a importância da aplicação de práticas preservacionistas”. **Revista de Geologia**, vol. 25, 2012.

ARAUJO, R. W. O.; SILVA, L. A. S.; CARDOSO, A. L. “Análise da saúde vegetal de manguezais com o uso de Índices de Vegetação através de técnicas Radiométricas Espectral Multibandas”. **Scientific Electronic Archives**, vol. 16, n. 10, 2023.

BALOLOY, A. B. *et al*. “Estimation of Mangrove Forest Aboveground Biomass Using Multispectral Bands, Vegetation Indices and Biophysical Variables Derived from Optical Satellite Imageries: Rapideye, Planetscope and Sentinel-2”. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. 4, 2018.

CARVALHO, E. A.; JARDIM, M. A. G. “Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses, Brasil”. **Ciência Florestal**, vol. 27, n. 3, 2017.

FABRE, S. *et al*. “Unsupervised Monitoring Vegetation after the Closure of an Ore Processing Site with Multi-Temporal Optical Remote Sensing”. **Sensors**, vol. 20, n. 17, 2020.

FRAMPTON, W. J. *et al*. “Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation”. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol. 82, 2013.

FRIESS, D. A. “Ecosystem Services and Disservices of Mangrove Forests: Insights from Historical Colonial Observations”. **Forests**, vol. 7, n. 9, 2016.

HIMES-CORNELL, A.; GROSE, S. O.; PENDLETON, L. “Mangrove Ecosystem Service Values and Methodological Approaches to Valuation: Where Do We Stand?”. **Frontiers in Marine Science**, vol. 5, n. 376, 2018.

HUSSAIN, S. A.; BADOLA, R. “Valuing mangrove benefits: contribution of mangrove forests to local livelihoods in Bhitarkanika Conservation Area, East Coast of India”. **Wetlands Ecology and Management**, vol. 18, n. 3, 2010.

HUTCHISON, J. *et al*. “Predicting global patterns in mangrove forest biomass”. **Conservation Letters**, vol. 7, n. 3, 2014.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBio, 2018. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 23/01/2025.

JAKOVAC, C. C. *et al*. “Costs and Carbon Benefits of Mangrove Conservation and Restoration: A Global Analysis”. **Ecological Economics**, vol. 176, 2020.

JESUS, T. B. *et al*. “Distribuição e biomassa de macroalgas associadas a troncos e raízes de manguezais na Baía de Todos os Santos, BA”. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 38, 2015.

JESUS, T. M. “**Análise da produção científica e modelagem do estoque de biomassa dos manguezais da Baía de Todos os Santos**” (Dissertação de Mestrado em Modelagem em Ciências da

Terra e do Ambiente). Feira de Santana: UEFS, 2019.

KANG, M. *et al*. "Biomass and its allocation in relation to temperature, precipitation, and soil nutrients in Inner Mongolia grasslands, China". **PLoS ONE**, vol. 8, n. 7, 2013.

KILCA, R. V. *et al*. "Estrutura dos manguezais em diferentes estágios sucessionais no estuário do rio Piauí Sergipe-Brasil". **Instituto Anchietano de Pesquisas**, n. 61, 2010.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. "Remote Sensing of Above-Ground Biomass". **Remote Sensing**, vol. 9, n. 9, 2017.

LAL, P. "Economic valuation of mangroves and decision-making in the Pacific." **Ocean and Coastal Management**, vol. 46, n. 9, 2003.

LEIVAS, J. F. *et al*. "Análise da dinâmica temporal de índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI e IRECI através de imagens Sentinel-2A e MODIS". *In*: MELO, J. O. F. (org.). **Ciências agrárias**: o avanço da ciência no Brasil. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022.

MA, Y. *et al*. "Precipitation and Temperature Influence the Relationship between Stand Structural Characteristics and Aboveground Biomass of Forests—A Meta-Analysis". **Forests**, vol. 14, n. 5, 2023.

MALEKI, M. *et al*. "Soil water depletion induces discrepancies between in situ measured vegetation indices and photosynthesis in a temperate heathland". **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 324, 2022.

MAPBIOMAS. "Metodologia geral do MapBiomas Amazônia: Classificação de cobertura e uso do solo utilizando algoritmos de aprendizado de máquina aplicados a imagens de satélite Landsat". **MapBiomas** [2024]. Disponível em: <www.mapbiomas.org>. Acesso em: 23/01/2025.

MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. "Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração". **Revista Árvore**, vol. 35, n. 3, 2011.

MITRA, A. "Ecosystem Services of Mangroves: An Overview". *In*: MITRA, A. **Mangrove Forests in India**. Cham: Springer, 2020.

NAGELKERKEN, I. *et al*. "Evaluation of nursery function of mangroves and seagrass beds for tropical decapods and reef fishes: patterns and underlying mechanisms". *In*: NAGELKERKEN, I. (ed.). **Ecological Connectivity among Tropical Coastal Ecosystems**. Dordrecht: Springer, 2009.

OLIVEIRA, J. M. *et al*. "Comparação de modelos estatísticos para estimativa da biomassa de árvores em cerrado sensu stricto". **Ciência Florestal**, vol. 21, n. 2, 2011.

PHAM, T. D. *et al*. "Remote Sensing Approaches for Monitoring Mangrove Species, Structure, and Biomass: Opportunities and Challenges". **Remote Sensing**, vol. 11, n. 3, 2019.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária** (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal). Viçosa: UFV, 2007.

RIZAL, A.; SAHIDIN, A.; HERAWATI, H. "Economic value estimation of mangrove ecosystems in Indonesia". **Biodiversity International Journal**, vol. 2, n. 1, 2018.

SAHANA, M. *et al*. "Assessment of suitable habitat of mangrove species for prioritizing restoration targets using machine-learning algorithms". **Scientific Reports**, vol. 12, n. 1, 2022.

SALEM, M. E.; MERCER, D. E. "The Economic Value of Mangroves: A Meta-Analysis". **Sustainability**, vol. 4, n. 3, 2012.

SHAO, Z.; ZHANG, L. "Estimating Forest Aboveground Biomass by Combining Optical and SAR Data: A Case Study in Genhe, Inner Mongolia, China". **Sensors**, vol. 16, n. 6, 2016.

SILVA, F. **Alometria e distribuição de palmeiras em terra-firme na Amazônia Central** (Tese de Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). Manaus: INPA, 2018.

SILVA, L. *et al*. "Assessment of conflicts between mangroves and human occupation in Subaé river outfall between the years 1988 to 2017". **International Journal for Innovation Education and Research**, vol. 10, n. 11, 2022.

SOPER, Fiona M. *et al*. "Non-native mangroves support carbon storage, sediment carbon burial, and accretion of coastal ecosystems". **Global Change Biology**, vol. 25, n. 12, 2019.

SOUZA, A. S. *et al*. "Mapeamento dos manguezais na Baía de Todos os Santos". **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos: INPE, 2023.

TAVARES, J. S. *et al*. "Análise do carbono negro presente em diferentes matrizes do manguezal de Atafona". **Anais do Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica**. São João da Barra: UENF, 2022.

TORRES, C. M. M. E. *et al*. "Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG". **Revista Árvore**, vol. 39, n. 5, 2015.

TRAN, T. V.; REEF, R.; ZHU, X. "A Review of Spectral Indices for Mangrove Remote Sensing". **Remote Sensing**, vol. 14, n. 19, 2022.

VEGH, T. *et al*. "Mangrove Ecosystem Services Valuation: State of the Literature. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions". **Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions** [2014]. Disponível em: <www.nicholasinstitute.duke.edu>. Acesso em: 23/12/2024.

VIEGAS, A. M. *et al*. "**Mapeamento e determinação da biomassa de manguezais através de imagens de satélite e dados dendrométricos no município de Alcântara-MA**". *In*: PACHECO, J. T. *et al*. **Meio Ambiente**: Inovação com Sustentabilidade. Ponta Grossa: Editora Atena, 2019.

VO, Q. T. *et al*. "Review of valuation methods for mangrove ecosystem services". **Ecological Indicators**, vol. 23, 2012.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VI | Volume 20 | Nº 60 | Boa Vista |2024

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima