



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

MARINA COSTA DE SOUSA

ANÁLISE DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO DOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS NA COSTA ATLÂNTICA
BRASILEIRA

BELÉM-PA

2023

Marina Costa de Sousa

Análise do impacto das mudanças climáticas nas unidades de conservação dos manguezais amazônicos na Costa Atlântica Brasileira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária /Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador(a): Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Jorge Serejo dos Anjos

BELÉM-PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S725a Sousa, Marina Costa de.
Análise do Impacto das Mudanças Climáticas nas Unidades de
Conservação dos Manguezais Amazônicos na Costa Atlântica
Brasileira // Marina Costa de Sousa. — 2023.
60 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa
Coorientador(a): Prof. Dr. Luciano Jorge Serejo do Anjos
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2023.
1. Manguezais Amazônicos. 2. Biomassa acima do solo. 3.
Clima. I. Título.

CDD 577.69809811

Marina Costa de Sousa

Análise do Impacto das Mudanças Climáticas nas Unidades de Conservação dos Manguezais Amazônicos na Costa Atlântica Brasileira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária /Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Data da Aprovação: Data: 28/06/2023
(Google Meet)

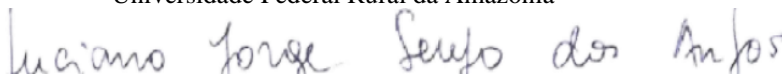
Hora:9:00

Local: Online

Banca Examinadora:



Prof. Adriano Marlison Leão de Sousa
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Luciano Jorge Serejo do Anjos
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Everaldo Barreiros de Souza
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Marcus Emanuel Barroncas Fernandes – Membro Externo
Doutor em Biologia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação marca um ponto crucial na minha jornada como Engenheira Ambiental. Essa jornada não foi percorrida sozinha e, até este momento, contei com a colaboração de inúmeras pessoas. Expressar minha gratidão a todas elas são um desafio imenso, mas espero que esta tentativa consiga transmitir ao menos uma fração dos meus sentimentos.

Gostaria de agradecer especialmente ao meu coorientador, Luciano do Anjos, por ser uma pessoa incrível. Ele foi um professor sensacional, um colaborador excepcional e um grande amigo. Ao Professor Adriano Marlisom, meu orientador, que desempenhou um papel fundamental no programa e me apoiou academicamente, incentivando-me desde a graduação e mostrando o meu potencial.

Também devo mencionar minha gratidão àqueles que colaboraram com a minha jornada no programa. Albertino Monteiro, Lucas Mota, Luciane Fiel, Matheus de Aviz e Vynicius Barbosa, estiveram ao meu lado durante todo o processo, me incentivaram e não me abandonaram. Vocês são especiais.

Sou extremamente grata a todos os meus amigos, pois fui abençoada com muitos. Aqueles que estiveram comigo desde a infância e continuam fazendo parte da minha vida, Tainá, Rodrigo e Gustavo, bem como meus amigos da graduação e da vida, grandes incentivadores e inspirações para mim, Lucas, Luciane, Albertino e Matheus. Vocês foram meu refúgio sempre que precisei. Aos meus amigos "Mariners", que sempre demonstraram grande felicidade por mim, que estão comigo desde a graduação e são grandes incentivadores, Adriana, Bernardo, Caio, Célia, João Victor, Luane, Luize, Victor, Yuri.

Agradeço aos meus pais, Terezinha e Manoel, meus irmãos Mateus e Matias, e minha avó Nazaré (in memoriam), por sempre me motivarem a buscar o melhor. Agradeço a Deus, toda honra e glória a ti. É isso, família, eu consegui!

Agradeço também à Capes pelo apoio financeiro e a todos os professores e colegas pelo conhecimento compartilhado ao longo do meu curso de mestrado. À UFPA, ao IG e a toda a equipe do PPGCA por proporcionarem a estrutura e o suporte acadêmico que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Os manguezais amazônicos estão sujeitos a diversos impactos climáticos, demandando ações de conservação e adaptação. Os objetivos deste trabalho é avaliar a vulnerabilidade das Unidades de Conservação (UCs) dos manguezais amazônicos as mudanças climáticas, fornecer dados de previsão climática para a região e analisar se as UCs estão desempenhando efetivamente seu papel de proteção desses ecossistemas. Para alcançá-los, foi utilizado dados do MapBiomas para delimitar a área de mangue, dados do World Database on Protected Areas (WDPA) para identificar as UCs dentro dos manguezais, dados do WorldClim para obter informações sobre a temperatura média anual (BIO1) e a precipitação acumulada (BIO12), e dados de Biomassa Acima do Solo (ESA). O processamento foi realizado no software ArcGIS, Qgis e Rstudio. Os resultados revelaram uma tendência de aumento da temperatura ao longo do tempo, enquanto a precipitação acumulada apresentou uma tendência de redução entre diferentes cenários e períodos. Esses padrões indicam que os manguezais sob proteção podem enfrentar até o final do século um contínuo aumento da temperatura e uma redução na precipitação. A temperatura mais elevada contribui para o aumento da disponibilidade de energia, desempenhando um papel fundamental na regulação da evapotranspiração nas florestas de mangue. Por outro lado, a redução na precipitação tem um impacto na salinidade, produtividade, crescimento e diversidade das espécies de mangue. O estudo também avaliou as UCs que protegem as florestas de mangue na região amazônica, juntamente com a biomassa acima do solo (AGB) que representa a quantidade de carbono armazenada nas árvores. Os resultados mostraram que 80,2% dos manguezais estão inclusos em UCs, com maior proteção no estado do Maranhão, seguido pelo Amapá e Pará. No entanto, observou-se uma variação na AGB entre os estados avaliados, com aumento para o Amapá e Pará e diminuição para o Maranhão. É fundamental implementar medidas de gestão e conservação mais eficazes para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas nesses ecossistemas costeiros.

Palavras-chave: Temperatura; Precipitação; Biomassa acima do solo; Floresta de mangue.

ABSTRACT

The Amazonian mangroves are subject to various climate impacts, demanding conservation and adaptation actions. The objectives of this study are to assess the vulnerability of the Amazonian mangrove Protected Areas (PAs) to climate change, provide climate prediction data for the region, and analyze if the PAs are effectively fulfilling their role in protecting these ecosystems. To achieve these objectives, data from MapBiomass were used to delimit the mangrove area, data from the World Database on Protected Areas (WDPA) were used to identify the PAs within the mangroves, data from WorldClim were used to obtain information on mean annual temperature (BIO1) and accumulated precipitation (BIO12), and Above Ground Biomass (AGB) data were used. The processing was carried out using ArcGIS, QGIS, and RStudio software. The results revealed a trend of increasing temperature over time, while accumulated precipitation showed a decreasing trend across different scenarios and periods. These patterns indicate that protected mangroves may face a continuous increase in temperature and a reduction in precipitation by the end of the century. The higher temperature contributes to increased energy availability, playing a fundamental role in regulating evapotranspiration in mangrove forests. On the other hand, reduced precipitation has a negative impact on salinity, productivity, growth, and species diversity in mangroves. The study also assessed the PAs that protect mangrove forests in the Amazon region, along with Above Ground Biomass (AGB) representing the amount of carbon stored in trees. The results showed that 80.2% of the mangroves are included within PAs, with higher protection in the state of Maranhão, followed by Amapá and Pará. However, there was variation in AGB among the evaluated states, with an increase in Amapá and Pará and a decrease in Maranhão. It is crucial to implement more effective management and conservation measures to address the challenges posed by climate change in these coastal ecosystems.

Keywords: Temperature; Precipitation; Above ground biomass; Mangrove Forest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Visão geral dos Shared Socioeconomic Pathways (SSPs).....	12
Figura 2- Mapa de Localização das Unidades de Conservação dos Manguezais Amazônicos	21
Figura 3- Fluxograma de aquisição e processamento dos dados	22
Figura 4- Temperatura Média Anual nos cenários SSP 1-2.6, SSP2-4.5, SSP 3-7.0 e SSP 5-8.5 para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100.....	25
Figura 5- Precipitação Acumulada nos cenários SSP 1-2.6, SSP2-4.5, SSP 3-7.0 e SSP 5-8.5 para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100.....	27
Figura 6- Precipitação Acumulada nos cenários SSP 1-2.6, SSP2-4.5, SSP 3-7.0 e SSP 5-8.5 para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100.....	31
Figura 7- Localização da área de estudo: Florestas de Mangue na Costa Atlântica Amazônia.....	40
Figura 8- Fluxograma de processamento dos dados e criação dos gráficos.....	42
Figura 9- Crescimento de área protegida calculado a partir da versão de julho de 2022 do Banco Mundial de Áreas Protegidas (WDPA) para área de mangue brasileira.....	43
Figura 10- Média de Biomassa por Ano com base na divisão por Estado e Grupo de UCs.....	44
Figura 11- Quantidade de áreas protegidas por ano com base na divisão por Estado e Grupo de UCs.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise de Variância (ANOVA) para as Variáveis BIO1 e BIO12 com os cenários	24
Tabela 2- Áreas de mangue, área de UC, e % de UC por estado	42
Tabela 3- Total de área protegida e porcentagem calculado a partir da versão de julho de 2022 do Banco Mundial de Áreas Protegidas (WDPA), com base na divisão por Estado e Área.....	44
Tabela 4- Densidade média de AGB e total de AGB por estado dentro de UC.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Importância dos manguezais amazônicos	10
1.2. Papel dos manguezais na mitigação das mudanças climáticas, impactos e ameaças	12
1.3. Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa	15
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivos Geral	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. Estrutura da dissertação.....	16
2. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS	17
2.1. Introdução	18
2.2. Material e métodos	20
2.2.1. Área de estudo	20
2.3. Resultados e discussão	24
2.4. CONCLUSÃO	31
3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS	36
3.1. Introdução	37
3.2. Material e métodos	38
3.2.2. Banco de Dados	39
3.2.3. Processamento dos dados.....	40
3.2.4. Análise dos dados	41
3.3. Resultados e discussão	41
3.4. CONCLUSÃO	50
4. CONCLUSÃO GERAL	54
4.1. Resultados chaves	55
4.2. Conclusões de forma integrada	56
4.3. Prioridades para pesquisas futuras	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância dos manguezais amazônicos

A Amazônia é a região com maior biodiversidade terrestre do planeta. Os manguezais amazônicos fazem parte desse tesouro biológico, fornecendo abrigo, alimento e reprodução para inúmeras espécies de plantas e animais, incluindo peixes, crustáceos, moluscos, aves migratórias e mamíferos. Muitos desses animais são endêmicos e dependem diretamente dos manguezais para sobreviver (Valiela *et al.*, 2021; Pinheiro *et al.*, 2019).

Além de sua biodiversidade notável, os manguezais amazônicos desempenham um papel crucial na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Suas densas raízes e solos lodosos têm a capacidade de armazenar quantidades significativas de carbono, atuando como sumidouros e contribuindo para a redução do dióxido de carbono na atmosfera (Valiela *et al.*, 2021; Souza-Filho *et al.*, 2019)

Esses ecossistemas também fornecem serviços vitais para as comunidades humanas que vivem próximas a eles. Eles servem como barreiras naturais contra tempestades, protegendo as áreas costeiras de erosão e inundação. Além disso, as comunidades locais dependem dos manguezais para subsistência, por meio da pesca, coleta de mariscos e extração de recursos naturais (Valiela *et al.*, 2021; Souza-Filho *et al.*, 2019).

No entanto, os manguezais enfrentam ameaças significativas, como desmatamento, poluição, exploração insustentável de recursos e mudanças climáticas. A conservação e gestão adequada desses ecossistemas são cruciais para garantir a manutenção de sua biodiversidade, serviços ecossistêmicos e benefícios para as comunidades locais (Souza-Filho *et al.*, 2019).

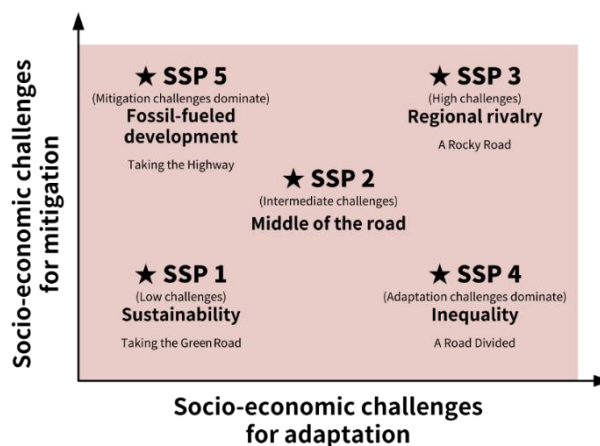
Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças no Clima (Parmesan; Morecroft; Trisurat, 2022), os ecossistemas costeiros, como os manguezais, têm função na adaptação climática devido ao potencial de mitigação para o sequestro de carbono. É importante entender como os manguezais respondem às mudanças do nível do mar no passado e como podem responder às mudanças climáticas futuras (Donato *et al.*, 2011).

A resposta dos manguezais às alterações ambientais, na maioria das vezes, indica as mudanças anteriores nas condições da zona costeira, principalmente em relação ao nível do mar. Em comparação aos padrões atuais das espécies florestais, permite verificar como os manguezais responderam às mudanças do nível do mar no passado, e como podem responder às mudanças climáticas futuras (Alongi, 2012).

Os cenários climáticos “Shared Socioeconomic Pathways” (SSPs) foram concebidos para identificar, quantificar e analisar conjuntos de suposições sobre as possíveis trajetórias evolutivas das sociedades em relação à mudança climática. Esses cenários permitem uma compreensão mais aprofundada da sensibilidade das estratégias climáticas às tendências socioeconômicas, desenvolvimento de cenários integrados combinando projeções de modelos climáticos, condições socioeconômicas e suposições sobre políticas climáticas (Nakicenovic; Lempert; Janetos, 2014).

Um papel importante na pesquisa sobre mudanças ambientais globais é desempenhado pelos cenários de longo prazo. Conjuntos de futuros alternativos de desenvolvimento da sociedade, conhecidos como *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) (Figura 1), são utilizados, integrando mudanças climáticas e sociais. Inclusas nesses cenários estão narrativas qualitativas que descrevem mudanças demográficas, desenvolvimento humano, economia, políticas, tecnologia e meio ambiente. As narrativas SSPs são baseadas em opiniões de especialistas e têm como objetivo representar condições futuras plausíveis em grandes regiões do mundo. São empregadas para o desenvolvimento de cenários integrados de emissões, uso da terra e análises de impacto climático, adaptação e vulnerabilidade (O’Neill *et al.*, 2017).

Figura 1 - Visão geral dos *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs)



Fonte: O’Neill *et al.* (2017). esta fonte tem que subir e não consegui

Esses cenários são projetados para abranger uma gama de futuros possíveis em termos dos desafios socioeconômicos relacionados à mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Essas narrativas são consistentes com o panorama geral dos cenários (Figura1). Dois dos cenários SSP descrevem futuros em que os desafios de adaptação e mitigação são baixos (SSP1) ou altos (SSP3). Além disso, foram projetados dois "casos assimétricos", nos quais altos desafios de mitigação são combinados com baixos desafios de adaptação (SSP5), e vice-versa (SSP4). Por fim, um caso central é descrito, representando um mundo com desafios intermediários para adaptação e mitigação (SSP2). Essa diversidade de cenários permite uma análise abrangente das implicações socioeconômicas e climáticas associadas a diferentes trajetórias de desenvolvimento (Riahi et al. 2016).

1.2 Papel dos manguezais na mitigação das mudanças climáticas, impactos e ameaças

As florestas de mangue que protegem as costas subtropicais e tropicais contra erosão e danos ambientais (Spalding et al., 2014), têm sofrido ao longo da história. Vários impactos afetaram as regiões de manguezais, como: utilização para aquicultura, extração de madeira, agricultura não sustentável, poluição (Friess et al., 2019). Isto tem afetado na área global dos manguezais, que continuam diminuindo (Giri et al., 2011), gerando prioridades para implementação de ações de conservação (Friess et al., 2019).

O Os manguezais contribuem, em média, com 14% para o sequestro de carbono nos oceanos do mundo, apesar de representar apenas 0,5% da área total do oceano costeiro (ALONGI, 2012). O valor financeiro médio das florestas de mangue foi estimado como sendo inferior apenas para o valor das pradarias de ervas marinhas e estuários, e maior do que o valor monetário das plataformas continentais, recifes de coral e mar aberto (Constaza et al., 1998).

No sudeste da Ásia, as florestas de mangue apresentaram taxas fotossintéticas em fase logarítmica, que é a fase de crescimento das plantas em que a taxa de fotossíntese está em ascensão e ocorre um aumento exponencial na fixação de carbono, por cerca de 20 anos. Após esse período, as taxas de fotossíntese se estabilizaram, porém não diminuíram significativamente por quase um século (Alongi, 2009). Além disso, é indiscutível que parece ser um padrão global entre as florestas de mangue, em que seus reservatórios subterrâneos de carbono, proveniente das raízes e do solo, são grandes,

apresentando uma razão de massa de carbono acima e abaixo do solo mais alta do que qualquer outra vegetação lenhosa (Alongi, 2012).

As mudanças ambientais globais e as mudanças climáticas relacionadas às emissões de gases do efeito estufa, à perda de biodiversidade e de recursos do solo estão relacionadas às mudanças de uso e cobertura da terra. O processo de urbanização em regiões costeiras, por exemplo, pode transformar a paisagem pela ocupação de terrenos dunares, manguezais, frentes de praias e outros sistemas costeiros nativos (Gómez *et al.*, 2016).

As mudanças climáticas em curso estão cada vez mais impactando as zonas costeiras, geralmente associadas ao aumento de CO₂ na atmosfera, ao aumento da temperatura do ar e da água, a subida do nível do mar, as alterações na intensidade de eventos meteorológicos extremos, quantidade e qualidade do escoamento continental (Alongi, 2014; Godoy; Lacerda, 2015; Guhza *et al.*, 2018). Além de fatores antrópicos, como: mudanças de uso da terra, barramentos, exploração de petróleo, bombeamento de água subterrânea, também influenciam no comportamento dos mangues às mudanças climáticas, pois alteram a hidrodinâmica das bacias, a salinidade, a quantidade de sedimentos que chegam na linha de costa (Rathod, Sapkale, 2015; Meng *et al.*, 2016).

Avaliar o comportamento espacial dos manguezais amazônicos e a exposição ao risco auxilia na previsão de mudanças na distribuição de manguezais e na formulação de novas estratégias para combater aos cenários climáticos extremos. Devido à escassez de estudos sobre as florestas de mangue brasileiras e as mudanças associadas em grande escala (Diniz *et al.*, 2019), esta pesquisa buscará auxiliar nas previsões futuras e na avaliação dos benefícios ecológicos dos manguezais. Segundo Friess *et al.*, (2020), os manguezais são um ecossistema de alta prioridade para uma série de iniciativas de conservação.

Diante da problemática de degradação acelerada dos ecossistemas costeiros e marinhos, observa-se a necessidade de conservação e restauração dos ecossistemas de mangue (Herr *et al.*, 2012). A gestão e planejamento dos ecossistemas marinhos devem ser fortalecidos com base nos regimes de gestão e regulamentação internacionais, nacionais, regionais e setoriais existentes (IUCN, 2020). As unidades de conservação surdem como forma de garantir os serviços ecossistêmicos prestados por esses espaços,

e entender a configuração dessas áreas é essencial para o planejamento (Friess et al, 2020).

Os dados produzidos a partir de sensores remotos, que descrevem os ecossistemas terrestres, estão cada vez mais disponíveis, com alto nível de resolução e confiabilidade (Schimel *et al.*, 2016). Essa fonte de dados apresenta uma grande possibilidade de refinar os resultados de modelagem climática, permitindo prever fatores ambientais em mudança, associados ao treinamento amostral e às condições atuais, avaliando assim as variáveis ambientais utilizadas nas previsões e suas respostas à mudança ambiental (Jayasinghe; Kumar, 2019; Wang *et al.*, 2022).

A disponibilidade de um grande repositório de imagens, no qual os usuários têm acesso as imagens processadas, permite o processamento paralelo da dados geoespaciais e aproveita a infraestrutura computacional para reduzir tempo de processamento (Kumar; Mutanga, 2018). Isto possibilita o acesso a um conjunto de dados que está disponível para o público em geral na plataforma *WorldClim*, que possibilita acessar dados bioclimáticos.

Além disso, é evidenciado no AR6 do Parmesan; Morecroft; Trisurat (2022) que a conservação e restauração das zonas costeiras são essenciais para estabilizar a linha de costa, a qual absorve a força das ondas e, devido ao aumento no nível do mar como resultado das mudanças climáticas, sofre com tais riscos ambientais. No Brasil, a legislação sobre UCs perpassa desde o fomento de criação de novas áreas protegidas, gestão, divisão por categorias e normas de manejo. A evolução de criação dessas áreas pode ser entendida por alguns fatores ambientais, políticos e históricos (Medeiros, 2006).

As UCs desempenham um papel fundamental na garantia dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos manguezais. Friess *et al.* (2020) ressaltam que houve grandes perdas de manguezais e que é necessário continuar a implementação de políticas internacionais que possam impactar compromissos e promover a conservação dessas áreas.

Nos últimos anos, tem havido um aumento no número de publicações de artigos voltados para o mapeamento dos manguezais, com foco principalmente em escala regional, concentrando-se no litoral norte (Meira *et al.*, 2018; Queiroz *et al.*, 2017; Souza Filho, 2005). Somente em 2019, Diniz *et al.* (2019) publicaram o status anual da cobertura de manguezais no Brasil como parte de uma análise em escala continental de 1985 a 2018.

Uma série de iniciativas de conservação dos manguezais vêm sendo propostas com o *International Blue Carbon*, que está sendo cada vez discutido para cumprir as promessas do Acordo de Paris e da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, demonstrando que a conservação dos manguezais ganha um grande impulso internacional com a conscientização da população e entidades governamentais (Friess *et al.*, 2020).

1.3 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa

O desenvolvimento desta pesquisa é motivado pela avaliação do impacto das mudanças climáticas nas Unidades de Conservação dos manguezais amazônicos, com o intuito de avaliar a exposição e vulnerabilidade climática para a região analisando se as UCs estão cumprindo seu papel de proteção desses ecossistemas. Os resultados obtidos poderão contribuir para a formulação de estratégias de conservação mais eficazes e para a compreensão dos desafios enfrentados pelos manguezais amazônicos em um cenário de mudanças climáticas.

Ressalta-se ainda que esta dissertação está em consonância à linha de pesquisa proposta pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia. De todo modo, o estudo busca promover uma discussão sobre o impacto das mudanças climáticas nos manguezais e como as UCs são importantes estratégias na conservação dessas áreas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto das mudanças climáticas nas Unidades de Conservação (UCs) dos manguezais amazônicos, avaliando a exposição e vulnerabilidade com projeções de cenários futuros para a região e analisar se as UCs estão desempenhando efetivamente seu papel de proteção desses ecossistemas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o impacto das mudanças climáticas considerando os cenários climáticos (SSP1-2.6, SPP2-4.5, SPP3-7.0, SPP5-8.5) e períodos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100), com as variáveis bioclimáticas temperatura média anual e precipitação acumulada anual, nas Unidades de Conservação (UC) dos manguezais amazônicos.

- Analisar o padrão de distribuição e o estado de conservação das unidades de conservação das florestas de mangue na região amazônica, por meio a Biomassa Acima do Solo (AGB) para os anos 2010 e 2018;

1.5 Estrutura da dissertação

Como produto desta dissertação, o primeiro artigo (capítulo 2) apresenta um estudo sobre o potencial impacto das mudanças climáticas nas unidades de conservação de manguezais considerando variáveis precipitação acumulada e temperatura média anual. Esta etapa da pesquisa contribui para verificar o quanto irá alterar em cada cenário e período, e como a região será afetada com as alterações climáticas. Reafirmando a necessidade da conservação e preservação desses ecossistemas é essencial para garantir um futuro sustentável e proteger os serviços ecossistêmicos dos manguezais.

No segundo artigo desta dissertação (capítulo 3) apresenta um estudo que avaliou as unidades de conservação que protegem os manguezais na região amazônica e seu impacto na biomassa acima do solo. Os resultados revelaram que, embora a maioria dos manguezais esteja dentro de unidades de conservação, essas áreas não estão efetivamente protegendo a biomassa. Houve variações na biomassa ao longo do tempo, com aumento em alguns estados e diminuição em outros. O estudo destaca a necessidade de melhorar a gestão e fiscalização das unidades de conservação na proteção da biomassa dos manguezais.

No capítulo 4 são expostas ainda as conclusões gerais da pesquisa, com uma reapresentação dos resultados-chave, a integração das principais conclusões dos estudos em uma perspectiva holística, além da manifestação de prioridades para pesquisas futuras e de considerações finais.

2 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS

Resumo

As mudanças climáticas afetam os manguezais, incluindo aumento da temperatura e alterações na hidrologia. Isso impacta a capacidade de retenção de substâncias e a distribuição das espécies nos manguezais. Os manguezais amazônicos estão sujeitos a diversos impactos climáticos, exigindo medidas de conservação e adaptação. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas, com as variáveis bioclimáticas temperatura média anual e na precipitação acumulada, nas Unidades de Conservação (UC) dos manguezais amazônicos. Para isso utilizou dados do MapBiomas para delimitação da classe de mangue, dados do WDPA para delimitação da UCs dentro dos manguezais e dados do WorldClim para as informações das variáveis Temperatura Média Anual (BIO1) e Precipitação Acumulada (BIO12), os dados foram extraídos para a área de estudo no software ArcGis, onde foi gerado o mapa bivariado e posterior criação de arquivo 'csv'. para análises estatísticas e geração de gráficos. Observa-se uma tendência de aumento da temperatura ao longo do tempo, a precipitação acumulada também apresenta uma tendência de redução entre os cenários e períodos, podendo ter redução entre 42mm e 201mm, considerando o SSP1.26 e SSP5.85 no período 2081-2100, a temperatura pode ter aumento entre 1,18°C e 3,67°C, considerando o SSP1.26 e SSP5.85 no período 2081-2100, respectivamente, indicando que os manguezais podem enfrentar um aumento contínuo da temperatura e diminuição da precipitação. A temperatura mais elevada pode contribuir para o aumento da disponibilidade de energia, o que desempenha um papel na regulação da evapotranspiração nas florestas de mangue. No entanto, a redução na precipitação tem um impacto na salinidade, produtividade, crescimento e diversidade das espécies de mangue, acarretando consequências significativas para esses ecossistemas costeiros vitais.

Palavras-chave: Temperatura média anual. Precipitação Acumulada. Evapotranspiração. Mangues.

Abstract

Climate change affects mangroves, including temperature increase and changes in hydrology. This impacts the capacity to retain substances and the distribution of species within mangroves. The Amazonian mangroves are subject to various climate impacts,

requiring conservation and adaptation measures. This study aimed to evaluate the impact of climate change, using the bioclimatic variables of mean annual temperature and accumulated precipitation, on the Conservation Units (UC) of the Amazonian mangroves. To do so, data from MapBiomias were used to delineate the mangrove class, data from the WDPA were used to delineate the UCs within the mangroves, and data from WorldClim provided information on the variables of Mean Annual Temperature (BIO1) and Accumulated Precipitation (BIO12). The data were extracted for the study area in ArcGIS software, where a bivariate map was generated and a CSV file was created for statistical analysis and graph generation. There is an observed trend of increasing temperature over time, and accumulated precipitation also shows a decreasing trend between scenarios and periods, potentially decreasing by 42mm to 201mm considering SSP1.26 and SSP5.85 in the 2081-2100 period. Temperature may increase by 1.18°C to 3.67°C considering SSP1.26 and SSP5.85 in the 2081-2100 period, respectively, indicating that mangroves may face a continuous temperature increase and a decrease in precipitation. Higher temperature can contribute to increased energy availability, which plays a role in regulating evapotranspiration in mangrove forests. However, reduced precipitation has a negative impact on salinity, productivity, growth, and species diversity in mangroves, resulting in significant consequences for these vital coastal ecosystems.

Keywords: Mean annual temperature. Cumulative precipitation. Evapotranspiration. Mangroves.

2.1 Introdução

As expansões da ação antrópica sobre unidades de conservação ambiental ocasionam problemas que abrangem tanto o eixo meio ambiental, como o eixo meio socioeconômico. Fatores climáticos, como temperatura do ar e do solo, radiação solar, precipitação e evapotranspiração, têm influência na produção líquida primária e no crescimento das florestas de mangue em todo o mundo (Thom, 1982). Além disso, a hidrologia, salinidade, entrada de nutrientes e tipo de solo são fatores ambientais que afetam a estrutura e produtividade dessas florestas (Lugo *et al.*, 1988). A interação desses fatores forma uma combinação complexa de processos que impactam o fluxo de calor, a temperatura e as modificações ao longo do ano nos manguezais (Ribeiro *et al.*, 2007).

As mudanças climáticas têm consequências significativas para os manguezais. O aumento do nível do mar, a elevação da temperatura, as alterações na hidrologia e a acidificação dos oceanos afetam as propriedades desses ecossistemas. Estima-se que a

capacidade de retenção e processamento de substâncias provenientes da terra diminua se a área de manguezal for reduzida entre 10% e 15% até 2100 (Alongi, 2008). É essencial compreender esses impactos para garantir a conservação e o manejo adequado dos manguezais frente às mudanças climáticas.

Os cenários SSPs são fundamentais para compreender as emissões de gases de efeito estufa, prever as mudanças climáticas, avaliar os impactos e desenvolver medidas de adaptação. O SSP1 apresenta baixos desafios, com foco na eficiência de recursos e rápido desenvolvimento, enquanto o SSP2 tem desafios intermediários, buscando equilibrar mitigação e adaptação. O SSP3 enfrenta altos desafios devido a políticas regionais específicas e desenvolvimento mais lento, enquanto o SSP5 enfrenta altos desafios para mitigação, mas baixos desafios para adaptação devido ao rápido desenvolvimento econômico.

Quanto à vulnerabilidade dos manguezais às mudanças climáticas, o aumento do nível do mar, a temperatura, a frequência e intensidade das tempestades, a hidrologia e a aridez são fatores importantes a serem considerados. Os manguezais costeiros e estuarinos são mais protegidos quando há a presença de rios e marés, pois as entradas de sedimentos e nutrientes podem acompanhar o aumento do nível do mar. A interação de fatores abióticos e antrópicos influencia a distribuição e o desenvolvimento das espécies nos manguezais (Kathiresan; Bingham, 2001; Bunt, 1996, 1999; Duke *et al.*, 1998; Matthijs *et al.*, 1999; Joshi; Ghose, 2003).

Em relação ao desenvolvimento, os manguezais atingem seu maior porte em condições ambientais com alta pluviosidade e amplitudes de maré, sendo as florestas de mangue podem apresentar uma estrutura mais simplificada e menor aporte de água doce, mesmo que as mesmas espécies estejam presentes em ambientes menos estressantes, formando bosques mistos ou monoespecíficos (Prance, 1986). As florestas de mangue na Amazônia enfrentam impactos climáticos, esses impactos afetam a estrutura, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos dos manguezais, tornando essencial compreender e mitigar esses efeitos diante das mudanças climáticas (Cavanaugh *et al.*, 2014).

O objetivo é avaliar o impacto das mudanças climáticas nas Unidades de Conservação (UC) dos manguezais amazônicos, considerando as variáveis bioclimáticas de temperatura média anual e precipitação acumulada, nos períodos de 2021-2040, 2041-

2060, 2061-2080 e 2081-2100, considerando os cenários SSP1.26, SSP2.45, SSP3.70 e SSP5.85.

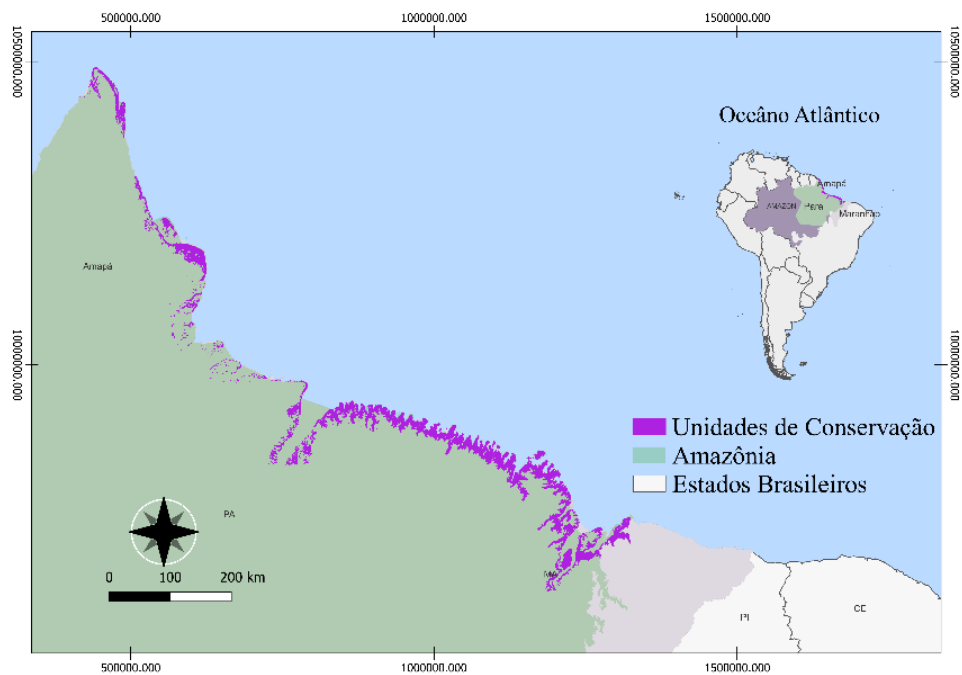
2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

Os manguezais amazônicos estão localizados ao longo da costa atlântica da região norte do Brasil, abrangendo os estados do Maranhão, Pará e Amapá. A área de estudo abrange toda a extensão desses manguezais, estendendo-se por cerca de 600 km em linha reta, desde o estado do Amapá até a baía de São José, no Maranhão (Costa Neto, Senna, Coutinho, 2006; Souza Filho, 2005) (figura 2). Nessa região, os manguezais podem se estender por mais de 40 km em direção ao interior, acompanhando o curso de vários estuários e baías de menor porte (Souza-Filho, 2005).

Area é conhecida por suas grandes variações de marés, que variam de 4 m a 7,5 m (Souza-Filho, 2005). O padrão das marés é semi-diurno (DHN, 2004). O clima é tropical, quente e úmido, com uma média anual de precipitação de aproximadamente 2300 mm (Fisch *et al.*, 1998). A temperatura média do ar gira em torno de 26°C. A região apresenta uma estação seca bem definida, com uma média mensal de precipitação inferior a 50 mm, que ocorre de julho a dezembro (Fisch *et al.*, 1998). Essa região é reconhecida mundialmente por abrigar a maior continuidade de manguezais, que se caracterizam por uma diversidade de ambientes e sedimentos originados de períodos geológicos terciários e quaternários (Villwock, 1994; Fernandes, 2016).

Figura 2- Mapa de Localização das Unidades de Conservação dos Manguezais Amazônicos

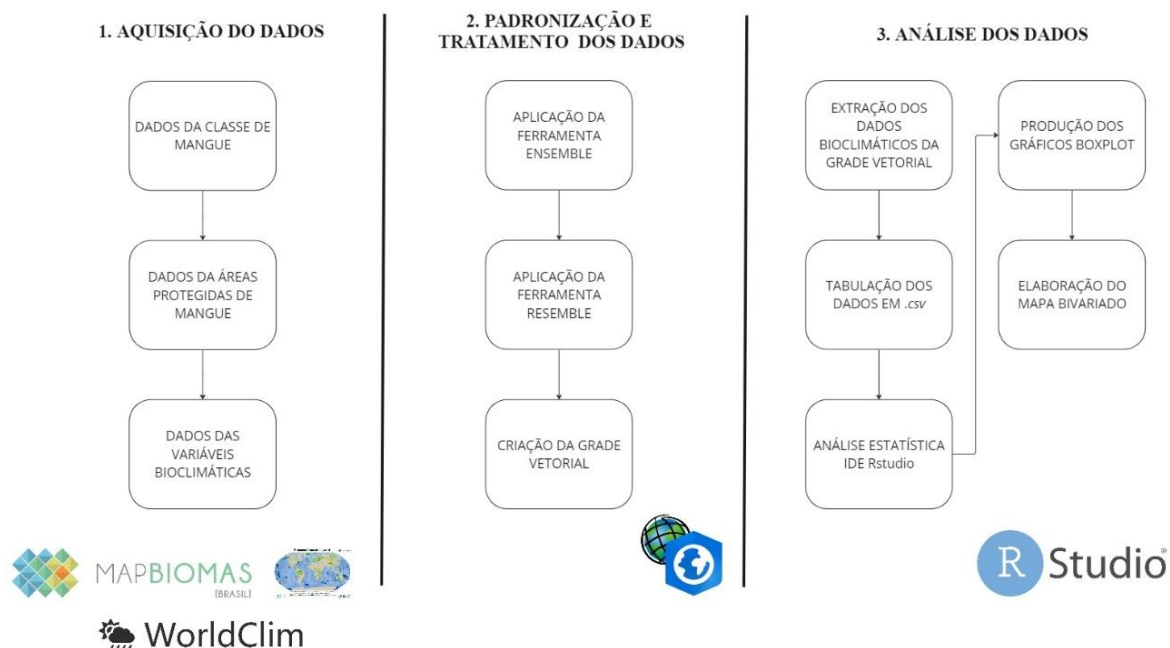


Fonte: Elaborada pela autora.

2.2.2 Bases de dados

Para delimitação da área a ser processada (figura 3), foi utilizado um arquivo *shapefile* da base de dados MapBiomas, a partir dos mapas de uso e cobertura da terra, os quais são disponibilizados por meio de arquivo *raster* que contém todas as classes mapeadas pelo MapBiomas, o qual contém todo o mapeamento da vegetação de mangue amazônico. Utilizou-se apenas do ano 2020, pois não houve alterações significativas na vegetação analisada. (DINIZ *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020).

Figura 3- Fluxograma de aquisição e processamento dos dados



Fonte: Elaborado pela autora.

O Banco de Dados Mundial de Áreas Protegidas (WDPA) de julho de 2022 foi empregado como fonte de dados das Unidades de Conservação (UC) (UNEP-WCMC, 2019), considerando apenas as unidades localizadas dentro da área de estudo delimitada pelo arquivo do MapBiomias, tanto no âmbito federal quanto estadual.

Dados bioclimáticos

Para análise da precipitação e temperatura, foram utilizados os dados do WorldClim. Para o estudo foi utilizada as variáveis bioclimáticas que consideram a Temperatura média anual (BIO1) e Precipitação acumulada (BIO12), com resolução original de 2,5' min. Os dados atuais disponíveis são a média para os anos 1970-2000, e os dados futuros para 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100, considerando todos os cenários, sendo os respectivos *raster* dos cenários (SSPs): 1-26, 2-45, 3-70 e 5-85. Os valores foram obtidos em mapas de médias climatológicas. Os dados bioclimáticos dos mapas foram obtidos a partir das mesmas coordenadas do arquivo *raster* do Mapbiomias para classe de mangue.

Nesta etapa de aquisição foi utilização da ferramenta Ensemble, para redução de erros dos dados, que fornece uma análise de dados que combina os resultados de vários

modelos para obter uma previsão ou classificação mais precisa e robusta. A abordagem do Ensemble baseia-se na premissa de que modelos distintos podem aprender padrões e relações diferentes nos dados. Ao combinar as previsões desses modelos, é possível obter uma maior diversidade de informações e reduzir erros individuais. Essa estratégia torna o Ensemble uma ferramenta popular e eficaz em problemas de aprendizado de máquina e análise de dados, especialmente quando precisão e robustez são elementos-chave (Hastie; Tibshirani; Jerome, 2019).

Os arquivos *raster* e *shapefile* utilizados neste estudo tiveram as operações realizadas por meio do ArcGIS Pro da ESRI (Environmental Systems Research Institute), um software computacional para análise espacial, manipulação de dados e cartografia.

Após a aquisição dos bancos de dados e das variáveis ambientais atuais e futuras, foi necessário padronizá-los para a mesma resolução espacial. Utilizou-se o software ArcGIS Pro e a ferramenta Resample (ESRI, 2022) para projetar os dados, garantindo que todos os arquivos estivessem na resolução espacial de 5 km². Essa etapa teve como objetivo facilitar a operação das bases de dados e padronizar os parâmetros dos dados matriciais.

Em relação às células, cada uma possui um código ou valor associado, de acordo com o arquivo *raster* correspondente (Gudes; Svoray, 2004). Durante o processo de entrada dos dados, o tamanho das células foi ajustado de acordo com a padronização pré-estabelecida necessária para a modelagem deste estudo. Nessa etapa, foram codificadas as feições, verificando a presença ou ausência das variáveis ambientais analisadas, e, quando presentes, realizou-se a quantificação da classe. A grade vetorial foi construída a partir do arquivo WDPA com recorte da vegetação de Mangue do MapBiomias.

Posteriormente, após a aquisição dos dados das Unidades de Conservação (UCs) de mangues, deu-se início à extração dos valores bioclimáticos (BIO 1 e BIO12) para os centroides da grade vetorial de 5 km².

Análise de dados e teste estatístico

Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) no Ambiente Integrado de Desenvolvimento Rstudio 4.2. O teste ANOVA (Fick; Hijmans, 2017) (Monstgomery; Peck; Vining, 2012), por meio da função `anova()` foram

realizados com as variáveis de interesses sendo elas: cenário, BIO1 e BIO12, que totalizaram cada uma 1361 dados observados.

Após o teste ANOVA, realizou-se com o banco de dados a criação de boxplots para comparação dos dados entre os períodos e os cenários, para isto utilizou-se a função `ggplot2()` para iniciar o gráfico e a camada `geom_boxplot()` para criação do boxplot (Wickhman, 2016).

Para avaliar os cenários analisados, utilizamos os dados das variáveis BIO1 e BIO12, sendo que para BIO1 consideramos os valores máximos, e BIO12 os valores mínimos que a região irá experimentar até o final do século. O mapa resultante permite avaliar os efeitos entre as variáveis de precipitação acumulada e temperatura média anual. Para realizar essa análise de forma precisa, empregamos a ferramenta “Bivariaty Colors”, a qual pode ser encontrada no Painel de Camadas (ArcGIS Pro).

2.3 Resultados e discussão

Foram realizadas análises para avaliar o impacto dos cenários climáticos SSPs nas UCs localizadas em manguezais, com foco nas variáveis listadas na Tabela 1. Para determinar as diferenças significativas entre os cenários em relação a essas variáveis, foi conduzida uma análise de variância (ANOVA). Os resultados obtidos indicaram efeitos estatisticamente significativos do cenário em ambas as variáveis analisadas: BIO1 ($F(4, 23115) = 3825, p < 2e-16$) e BIO12 ($F(4, 23115) = 63.34, p < 2e-16$).

Tabela 1- Análise de Variância (ANOVA) para as Variáveis BIO1 e BIO12

Variável	Df*	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
BIO1	4	11,602	2,900.6	3825	<2e-16 ***
BIO12	4	4.505e+07	11262420	63.34	<2e-16 ***

*Graus de Liberdade

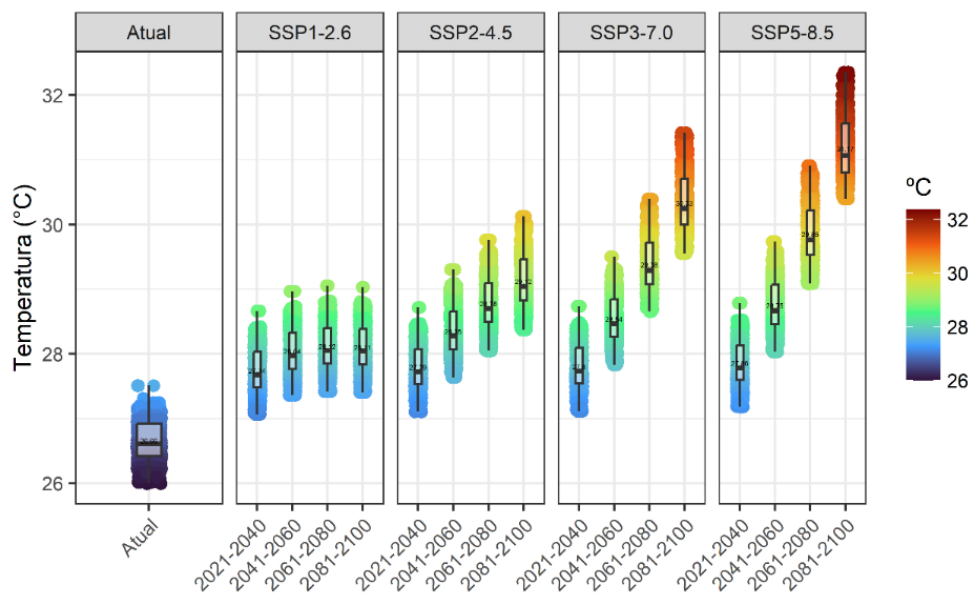
Fonte: Elaborado pela autora.

Para a variável BIO1, os valores de F evidenciaram uma associação altamente significativa entre o cenário e a variabilidade observada, com um F value de 3825. Da mesma forma, no caso da variável BIO12, o valor de F (F value = 63.34) também apontou uma relação estatisticamente relevante entre o cenário e a variação observada. A robustez dessas associações é enfatizada pelos p-valores extremamente baixos ($p < 2e-16$) para

ambas as variáveis, corroborando a sua importância estatística. A figura 4 apresenta os dados da variação da Temperatura Média Anual (BIO1) em diferentes cenários climáticos e períodos. Observa-se (figura 4) que, a variável BIO1, para o cenário SSP1.26, pode variar em média até final do século cerca 1,18°C, no cenário SSP2.45 pode chegar a aumentar até 1,8°C, no SSP3.70 pode ser sentindo um aumento de 2,72°C, e no cenário SSP5.85 pode chegar até 3,67°C. Os cenários representam diferentes condições socioeconômicas e políticas que afetam a capacidade de enfrentar as mudanças climáticas e adaptação.

A partir dos resultados Temperatura Média Anual (BIO1) das UCs de manguezais amazônicos (figura 4), observa-se uma tendência de aumento da temperatura ao longo do tempo, indicando que os manguezais podem enfrentar um aumento contínuo da temperatura. No entanto, há variações nas estimativas de temperatura entre os cenários climáticos em cada período, destacando a influência das trajetórias de emissões de gases de efeito estufa. Por exemplo, o cenário SSP5-8.5 apresenta estimativas de temperatura mais elevadas em comparação com outros cenários.

Figura 4- Temperatura Média Anual nos cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5 para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100



Fonte: Elaborado pela autora.

Os cenários climáticos avaliam as pressões e adaptações que podem ser adotadas, e algumas das principais causas para a perda dos manguezais são as transformações para usos urbanos do solo, agricultura e aquicultura (Spalding *Et Al.*, 2010; Kamalifar *Et Al.*, 2016; Cerezo *Et Al.*, 2018). Segundo o ICMBio (2018), apesar da

importância dos manguezais, estima-se que cerca de 25% destes foram degradados desde o início do século XX, há uma série de riscos diante dessas perdas, que são: perda e fragmentação da cobertura vegetal, degradação da qualidade dos habitats aquáticos, causados principalmente pela ocupação do solo, poluição e mudanças na hidrodinâmica.

No estudo de Barros & Albernaz (2014), sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas na Amazônia brasileira, apresentam que os manguezais tendem a responder de forma positiva ao aumento combinado dos níveis de CO₂ e do aumento da temperatura global, o que aumentaria a capacidade fotossintética e reduziria a evapotranspiração das plantas (Field, 1995; Ellison, 2000; Lacerda *et al.*, 2002).

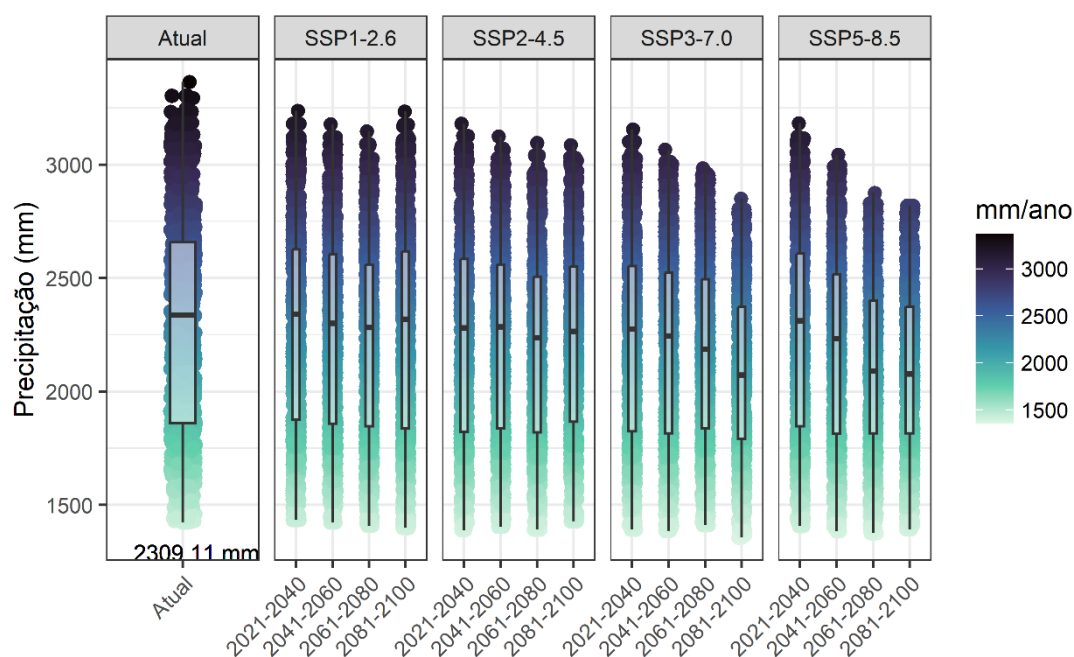
No entanto, esse aumento da temperatura tem consequências na evapotranspiração da floresta de mangue. No estudo de Barr, Delonge, Fuentes (2014) mostrou que a temperatura desempenha um papel crucial na evapotranspiração da floresta de mangue, afetando diretamente a disponibilidade de energia, o déficit de pressão de vapor (VPD) e os mecanismos de controle fisiológico das plantas. A variação sazonal da temperatura do ar afeta a demanda evaporativa da atmosfera. Durante os meses mais quentes, de maio a setembro, as temperaturas são mais altas, atingindo frequentemente valores superiores a 25°C. Isso resulta em uma maior pressão de vapor de saturação atmosférica e, conseqüentemente, em uma demanda maior por evaporação.

Contudo, as mudanças climáticas podem ter implicações significativas no aumento da produtividade de determinadas espécies. Além disso, à medida que a temperatura média regional do ar e/ou do mar aumenta gradualmente, é provável que ocorra uma expansão das áreas de distribuição de algumas espécies de manguezais em direção a latitudes mais elevadas, onde a distribuição atualmente é limitada pela temperatura (Kjerfve; Macintosh, 1997).

Nos ecossistemas de manguezais amazônicos, onde a temperatura da água já é elevada, a distribuição de peixes e crustáceos precisará se ajustar rapidamente ao aumento da temperatura provocado pelas mudanças climáticas. Entretanto, mesmo um leve aumento na temperatura (1.0 °C a 2.0 °C) pode ser suficiente para provocar efeitos fisiológicos subletais em peixes tropicais, especialmente em relação à reprodução, quando combinado com possíveis alterações hidrológicas (Ficke *Et Al.*, 2007; Barr, Delonge, Fuentes, 2014).

A avaliação da precipitação acumulada é fundamental para verificar o padrão até o final do século e entender seus impactos e consequências. Dessa forma é possível observar (figura 5) que a variação da média da precipitação acumulada até o final do século será para o cenário SSP1-2.6 de 42 mm, no SSP2-4.5 de 26 mm, no SSP3-7.0 de 221,7 mm, e no SSP5-8.5 será de 201,783 mm. Em todos os cenários haverá uma redução da precipitação. Os dados de Precipitação Acumulada anual (BIO12) nos manguezais amazônicos (Figura3) indicam possíveis mudanças futuras na precipitação, destacando a importância de medidas de adaptação às mudanças climáticas. Essas informações fornecem um panorama sobre as possíveis variações e tendências futuras da precipitação nos manguezais amazônicos.

Figura 5- Precipitação Acumulada nos cenários SSP 1-2.6, SSP2-4.5, SSP 3-7.0 e SSP 5-8.5 para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100.



Fonte: Elaborado pela autora.

As pressões antrópicas, em sua maioria, não consideram os critérios técnicos e as normativas regulatórias e avançam sobre esses espaços considerados como Áreas de Preservação Permanente (APP) (Silva; Filho, 2015), a exemplos desses espaços têm-se: restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues, e manguezais, em toda a sua extensão, bordas dos tabuleiros ou chapadas em faixa maior que a 100m, veredas (faixa marginal com largura mínima de 50 m). O Código Florestal, estabelecido pela Lei

12.651 de 2012, estabelece que APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar recursos hídricos e paisagem, em suma, os diferentes elementos encontrados no meio físico e garantir o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

No estudo de Freire et al (2022), no qual avaliou a influência da sazonalidade dos elementos climáticos em manguezal amazônico, apresentou que a diminuição da precipitação teve impactos significativos no ecossistema de manguezal, e que a falta de chuva afetou a disponibilidade de água e, conseqüentemente, a umidade do solo. Durante a estação chuvosa, os manguezais normalmente experimentam maior umidade do solo devido ao aumento da precipitação. A redução da precipitação afetou negativamente as espécies arbóreas de mangue, resultando em abscisão foliar e diminuição das funções fisiológicas.

No estudo de Kuuffman *et al.* (2018), sobre os manguezais na região leste da foz do Rio Amazonas, foi constatado que a disponibilidade de água está relacionada ao estoque de carbono. Embora não tenha tido diferenças significativas nos estoques de carbono entre os manguezais da Amazônia, os níveis contrastantes de chuva podem desempenhar um papel importante no acúmulo de carbono em outras áreas.

Para região de Bragança no Pará, foi demonstrado que a redução das chuvas resultou em aumento da salinidade da água. Essas diferenças foram impulsionadas pelas mudanças climáticas e variações no nível do mar. Com a continuação da redução das chuvas, é provável que os manguezais ocupem uma área adicional na região costeira, ressaltando a importância de considerar as alterações na precipitação ao avaliar os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas costeiros (Cohen *et al.*, 2020)

Sendo as variações sazonais das chuvas responsáveis por mudanças graduais nos teores de nutrientes e nas propriedades físico-químicas (pH e salinidade) das águas superficiais e intersticiais, elas afetam o equilíbrio salino das águas costeiras, a salinização e dessalinização dos sedimentos e a distribuição da vegetação de mangue no estuário. A exposição prolongada dos sedimentos durante a estiagem e as características morfológicas da região desempenham um papel importante na oxidação total ou parcial dos sedimentos em superfície, o que altera a mineralogia e as características químicas e físico-químicas das águas intersticiais (Christiene et al, 2022)

A redução das chuvas pode levar à diminuição das áreas de manguezais e várzeas, resultando em um declínio no número de espécies presentes. Por outro lado, o aumento das chuvas pode levar à substituição de espécies vegetais que não são capazes de sobreviver em novas condições por um longo período. Além disso, o aumento da temperatura da água nas planícies de inundação pode causar episódios mais frequentes e duradouros de hipóxia ou anoxia, o que pode afetar negativamente o crescimento e o sucesso reprodutivo de muitas espécies (Ficke *Et Al.*, 2007; Barros & Albernaz, 2014).

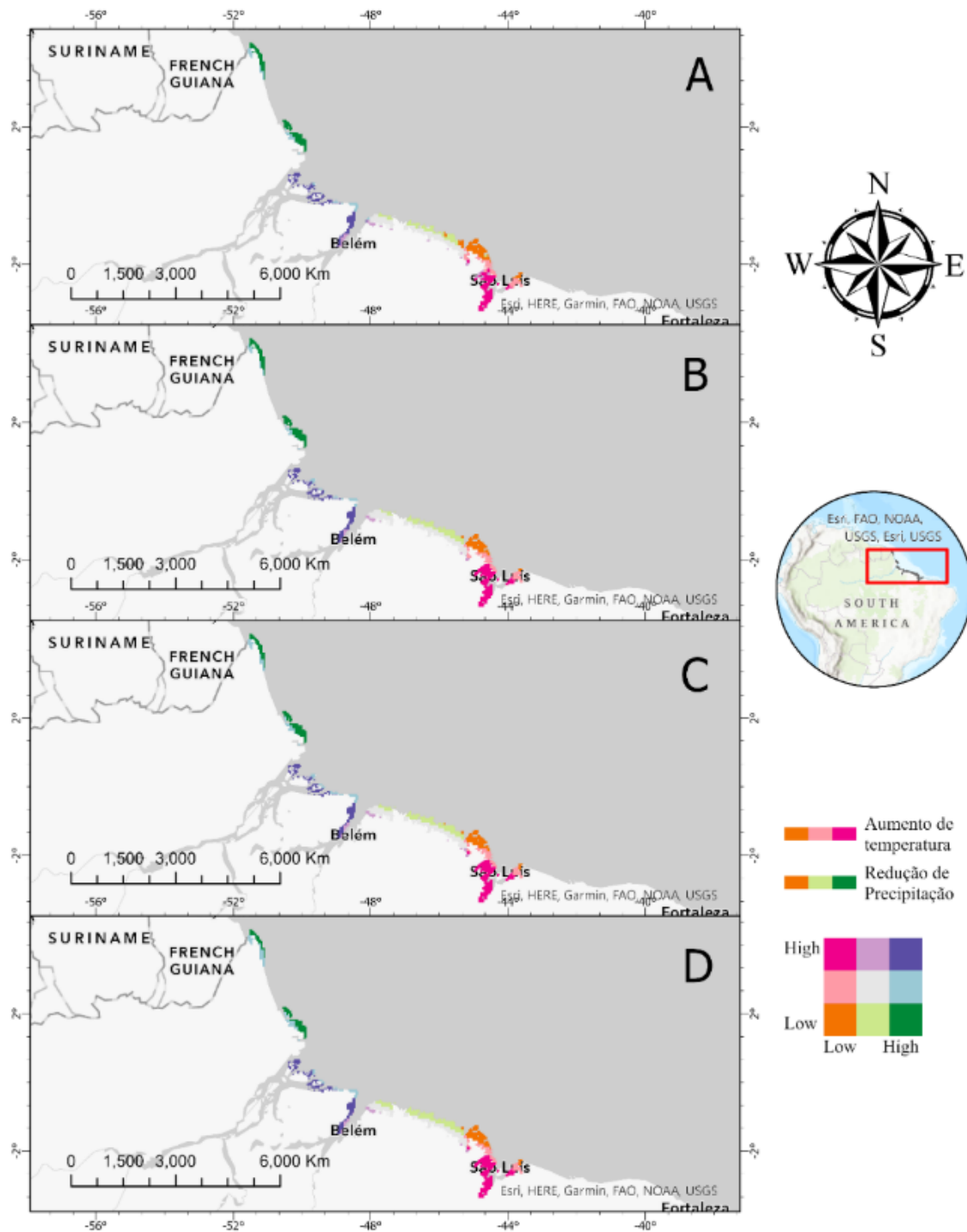
Essas causas e consequências das mudanças climáticas, na Figura 4, é possível verificar uma mapa bivariado esta técnica permite a interpretação da relação entre o aumento da Temperatura Média Anual e da redução da Precipitação Acumulada nas áreas de UCs de mangues, a análise permite observar as interações espaciais entre as variáveis por meio das cores, nesse caso as UCs do estado do Amapá, sofrem uma redução na precipitação nos cenários A e B, com tonalidades mais intensas de verde, enquanto nos cenários C e D essa redução é moderada, representada por tons de verde claro.

E no noroeste paraense, a região experimentará os dois extremos, com aumento de temperatura e diminuição da precipitação em todos os cenários, evidenciados por tons de roxo e azul no mapa. Já no nordeste paraense, predominam tons de verde claro em todos os cenários, indicando que a região não será significativamente afetada pelo aumento da temperatura e diminuição da precipitação.

No Maranhão, é possível observar tonalidades laranja, indicando baixa probabilidade de aumento de temperatura e redução da precipitação, além de tons de rosa que indicam um aumento significativo de temperatura na região. Essas informações destacam a variabilidade espacial das mudanças climáticas, ressaltando a importância de compreender esses padrões para orientar a conservação da biodiversidade e a tomada de decisões relacionadas ao manejo dos ecossistemas.

A análise do mapa bivariado (figura 6) sugere que a região oeste seria a mais afetada pela diminuição da precipitação e que os maiores aumentos de temperatura na região amazônica ocorrerão a leste.

Figura 6- Mapa das Mudanças Climáticas: Distribuição Espacial das Tendências de Temperatura e Precipitação para os cenários SSP 1-2.6(A), SSP2-4.5(B), SSP 3-7.0(C) e SSP 5-8.5(D) para os períodos atual, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100



Fonte: Elaborado pela autora.

O aquecimento global e as mudanças nos padrões de precipitação e evaporação podem levar à formação de barreiras salinas estuarinas e costeiras, impedindo a troca de água entre os manguezais e o oceano costeiro. Isso pode levar à estagnação da água por vários meses e à formação de águas hipersalinas, que podem ser estressantes para os manguezais (Wolanski *Et Al.*, 1992; Andutta *et al.*, 2011).

Em locais onde a precipitação aumenta, os manguezais podem se expandir, como observado em Moreton Bay, na Austrália (DALE *et al.*, 2013). No entanto, as mudanças na precipitação e evaporação afetarão o balanço hídrico dos estuários e, conseqüentemente, a salinidade dos manguezais adjacentes (ROBINS *et al.*, 2014). Essas alterações na salinidade são esperadas para modificar a ecologia e a distribuição das espécies de mangue (Osland *et al.*, 2014).

Essas áreas de unidades de conservação veem como importante estratégia voltada para os ecossistemas costeiros e marinhos, incluindo os manguezais (Pinheiro *et al.*, 2015). O objetivo das áreas de proteção integral é preservar a natureza de forma que apenas o uso indireto, que não envolva consumo, coleta ou destruição, seja permitido (Brasil, 2000). O grupo de uso sustentável visa conciliar a conservação da natureza e o uso direto, permitindo a coleta e o uso comercial dos recursos naturais (Brasil, 2000).

De acordo com os resultados obtidos e os possíveis impactos negativos a estas áreas, é importante que haja um olhar mais forte sobre essas áreas a serem protegidas, para que desempenhem um papel essencial na conservação da biodiversidade, proteção costeira, ciclagem de nutrientes e na promoção de meios de subsistência sustentáveis para as comunidades costeiras. A preservação dessas áreas é fundamental para garantir a saúde e a resiliência dos manguezais e dos ecossistemas marinhos associados.

2.4 Conclusão

Este estudo destaca a importância das Unidades de Conservação (UCs) na preservação dos manguezais amazônicos e ressalta os impactos significativos que os cenários climáticos projetados podem ter sobre essas áreas protegidas. Os resultados indicam que as mudanças climáticas, como o aumento da temperatura e a redução da precipitação, podem afetar negativamente a biodiversidade, os ecossistemas e os serviços ecossistêmicos dos manguezais. Além disso, as pressões antrópicas, como a conversão para usos urbanos do solo e a degradação dos habitats aquáticos, representam desafios

adicionais para a conservação dessas áreas. Diante desses desafios, é essencial implementar medidas de adaptação às mudanças climáticas e promover a conservação desses importantes ecossistemas costeiros. A proteção contínua das UCs e a conscientização sobre sua importância são fundamentais para garantir a preservação dos manguezais amazônicos e sua capacidade de fornecer benefícios ecológicos essenciais para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.76, n.1, p.1–13, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- BARR, J. G.; DELONGE, M. S.; FUENTES, J. D. Seasonal evapotranspiration patterns in mangrove forests. **Journal of Geophysical Research**, v.119, n.7, p. 3886–3899, 2014. <https://doi.org/10.1002/2013JD021083>
- BARROS, D. F.; ALBERNAZ, A. L. M. Possíveis impactos das mudanças climáticas em áreas úmidas e sua biota na Amazônia Brasileira. **Brazilian Journal of Biology**, v.74, n.4, p.810–820, 2014. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.04013>
- BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm.
- CAVANAUGH, K. C.; KELLNER, J. R.; FORDE, A. J.; GRUNER, D. S.; PARKER, J. D.; RODRIGUEZ, W.; FELLER, I. C. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.111, n.2, p.723–727, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315800111>.
- COHEN, M. C. L.; RODRIGUES, E.; ROCHA, D. O. S.; FREITAS, J.; FONTES, N. A.; PESSENDA, L. C. R.; SOUZA, A. V.de; GOMES, V. L. P.; FRANÇA, M. C.; BONOTTO, D. M.; BENDASSOLLI, J. A. Southward migration of the austral limit of mangroves in South America. **Catena**, v.195. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104775>
- COSTA NETO, S. V.; SENNA, C. S. F.; COUTINHO, R. S. **Inventário biológico das áreas do Sucuriçu e região dos Lagos, no Amapá**. 2006. p.41–79.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO-DHN. **Tábuas de marés para 2003**. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. Niterói-RJ: Marinha do Brasil; DHN, 2003.
- DINIZ, C., CORTINHAS, L., NERINO, G., RODRIGUES, J., SADECK, L., ADAMI, M., & SOUZA-FILHO, P. W. M. (2019). Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. **Remote Sensing**, 11(7). <https://doi.org/10.3390/rs11070808>

DUKE, N. C. (2017). Mangrove floristics and biogeography revisited: Further deductions from biodiversity hot spots, ancestral discontinuities, and common evolutionary processes. In *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services* (pp. 17–53). **Springer International Publishing**. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_2

ELLISON, J.C. How South Pacific mangroves may respond to predicted climate change and sea-level rise. In: GILLESPIE, A.; BURNS, W.C.G. (eds). **Climate change in the South Pacific: impacts and responses in Australia, New Zealand, and Small Island States**. Dordrecht: Springer, 2000. https://doi.org/10.1007/0-306-47981-8_16.

FERNANDES, Marcus Emanuel Barroncas (org.). Os manguezais da costa norte brasileira. Bragança, PA: **Laboratório de Ecologia de Manguezal**, 2016. v. 3. Disponível em: <https://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/635>.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v.37, n.12, p.4302–4315, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

FICKE, A. D., MYRICK, C. A., & HANSEN, L. J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, 17(4), 581–613. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9059-5>

FIELD, C. D. (1995). Impact of expected climate change on mangroves. In *Hydrobiologia* (Vol. 295).

FISCH, Gilberto; A MARENGO, José; A NOBRE, Carlos. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 101-101, jun. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282126>.

FREIRE, A. S. C., VITORINO, M. I., de SOUZA, A. M. L., & GERMANO, M. F. (2022). Analysis of the energy balance and CO₂ flow under the influence of the seasonality of climatic elements in a mangrove ecosystem in Eastern Amazon. **International Journal of Biometeorology**, 66(4), 647–659. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02224-8>

HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., & JEROME, F. (2019). Springer Series in Statistics The Elements of. <https://hastie.su.domains/Papers/ESLII.pdf>

ICMBIO. Atlas dos Manguezais do Brasil. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, [S.L.]: ICMBIO, 2018. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf.

KATHIRESAN, K., & BINGHAM, B. L. (2011). Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems **advances in marine biology vol 40**: 81-251 (2001).

KAUFFMAN, J. Boone; BERNARDINO, Angelo F.; FERREIRA, Tiago O.; GIOVANNONI, Leila R.; GOMES, Luiz Eduardo de O.; ROMERO, Danilo Jefferson; JIMENEZ, Laís Coutinho Zayas; RUIZ, Francisco. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. **Biology Letters**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 20180208, set. 2018. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>.

KJERFVE, B., PERILLO, G. M. E., GARDNER, L. R., RINE, J. M., DIAS, G. T. M., & REBELO MOCHEL, F. (n.d.). Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America.

LACERDA, L. D.; CONDE, J. E.; KJERFVE, B.; ALVAREZ-LEÓN, R.; ALARCÓN, C.; POLANÍA, J. American Mangroves. **Mangrove Ecosystems**, [S.L.], p. 1-62, 2002. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04713-2_1.

LUGO, A. E., 1990, Fringe wetlands, pp. 143-169. In: A. E. Lugo, M. Brinson & S. Brown (eds.), *Forested wetlands. Ecosystems of the world*, Elsevier, Amsterdam, 527p

MATOS, C. R.; BERRÊDO, J. F.; MACHADO, W.; METZGER, E.; SANDERS, C. J.; FAIAL, K. C.; COHEN, M. C. Seasonal changes in metal and nutrient fluxes across the sediment-water interface in tropical mangrove creeks in the Amazon region. **Applied Geochemistry**, v. 138, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105217>.

MONSTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. *Introduction to linear Regression Analysis*. 872. 2012.

RIAHI, K., VUUREN, D. P. Van, KRIEGLER, E., EDMONDS, J., NEILL, B. C. O., FUJIMORI, S., BAUER, N., CALVIN, K., DELLINK, R., FRICKO, O., LUTZ, W., POPP, A., Crespo, J., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2016). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

RIBEIRO, J. B. M., ROCHA, E. J. P. da, FERREIRA, M. A. V., OLIVEIRA, P. J. de, & MATTOS, A. (2008). Características Do Balanço De Energia No Manguezal De Bragança-Pa E Alterações No Fluxo De Calor No Solo Em Função Do Desmatamento. **Geografia**, 32(3), 683–698. <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1582>

SOUZA FILHO, P. W. M. (2005). Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23(4), 427–435. <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2005000400006>

SOUZA, C. M., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A., RUDORFF, B. F. T., HASENACK, H., MATSUMOTO, M., FERREIRA, L. G., SOUZA-FILHO, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 12(17). <https://doi.org/10.3390/RS12172735>

THOM, B. G. Mangrove ecology — a geomorphological perspective; In: Clough, B. F. (ed.), *Mangrove Ecosystems in Australia — Structure, function and management*, p. 1–17. **Australian Institute of Marine Science and Australian National University Press**, Canberra. 1982.

PRANCE, Ghilleen T. *The Botany of Mangroves*. By PB Tomlinson: Cambridge University Press, 32 East 57th St., New York, NY. 1986. 1987. 413 p. ISBN 0-521-25567-8. Disponível em: https://assets.cambridge.org/97811070/80676/frontmatter/9781107080676_frontmatter.pdf

UNEP-WCMC. **User manual for the world database on protected areas and world database on other effective area- based conservation measures : 1 . 6** User Manual for the World Database on Protected Areas and world database on other effective area-., 2019.

VILLWOCK, J. A. A costa brasileira: geologia e evolução. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, v. 7, p. 38-49, 1994.

WICKHAM, H. **ggplot2**: elegant graphics for data analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4.

3 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS

RESUMO

Os manguezais são importantes na mitigação das mudanças climáticas, pois responsáveis pelo armazenamento de carbono, e são considerados prioritários em iniciativas de conservação recentes. O estudo avaliou as unidades de conservação que protegem as florestas de mangue na região amazônica e a biomassa acima do solo (AGB), que representa a quantidade de carbono armazenada nas árvores. Utilizou-se dados do MapBiomass para delimitar a área de mangue e dados do World Database on Protected Areas (WDPA) para informações das unidades de conservação (UCs), com complementação de dados do Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC). Para verificar a biomassa acima do solo nas UCs, utilizou-se a base de dados do Climate Change Initiative (CCI) da Agência Espacial Europeia (ESA) pela equipe Biomass CCI. Os resultados mostraram que 80,2% dos manguezais estão inclusos em UCs, com maior proteção no Maranhão, seguido pelo Amapá e Pará. A média de AGB na região foi de 125,71 MgC/ha em 2010 e 125,53 MgC/ha em 2018, com aumento na AGB para o Amapá e Pará e diminuição no Maranhão. O estudo indica que as unidades de conservação com manguezais em seu interior não estão sendo efetivas em proteger a AGB em todos os estados avaliados.

Palavras-chave: Floresta de Mangue. Biomassa acima do Solo. Conservação.

ABSTRACT

The study evaluated the conservation units that protect mangrove forests in the Amazon region and the aboveground biomass (AGB), which represents the amount of carbon stored in trees. Mangroves are important in mitigating climate change as they are responsible for carbon storage and are considered a priority in recent conservation initiatives. Data from MapBiomass was used to delimit the mangrove area, and data from the World Database on Protected Areas (WDPA) was used for information on conservation units (UCs), complemented by data from the National System of Conservation Units (SNUC). To verify the aboveground biomass in UCs, the Climate Change Initiative (CCI) database from the European Space Agency (ESA) was used by the Biomass CCI team. The results showed that 80.2% of mangroves are included in UCs,

with greater protection in Maranhão, followed by Amapá and Pará. The average AGB in the region was 125.71 MgC/ha in 2010 and 125.53 MgC/ha in 2018, with an increase in AGB for Amapá and Pará and a decrease in Maranhão. The study indicates that conservation units with mangroves within them are not effective in protecting AGB in all evaluated states.

Keywords: Mangrove Forest. Aboveground Biomass. Conservation.

3.1 Introdução

As florestas de mangue, que ocupam cerca de 137 mil km² em todo o mundo (Donato *et al.*, 2011), desempenham um papel importante na redução da vulnerabilidade das regiões costeiras a eventos climáticos extremos (ICMBIO, 2018a). Além disso, esses ecossistemas oferecem diversos serviços ecossistêmicos e funções ambientais, incluindo a proteção contra processos erosivos decorrentes da elevação do nível do mar (Medeiros, 2005; Siteo; Mandlate; Guedes, 2014).

Dados seus valores potenciais para a mitigação das mudanças climáticas, vários estudos têm focado nos estoques de carbono das florestas de terras altas da Amazônia, mas poucos investigaram seus estoques de carbono azul (Kauffman *et al.*, 2018), o qual é o carbono armazenado, sequestrado e liberado pelos ecossistemas costeiros (incluindo as marés, manguezais e pradarias marinhas) (Herr; Pidgeon; Laffoley, 2012).

As mudanças climáticas, por sua vez, associadas ao aumento de CO₂ na atmosfera, ao aumento da temperatura do ar e da água, à subida do nível do mar, alterações na intensidade de eventos meteorológicos extremos, quantidade e qualidade do escoamento continental estão impactando fortemente as zonas costeiras (Alongi, 2014; Godoy; Lacerda, 2015). Tendo a temperatura global aumentando em 1,09 °C de 2011 para 2020, com aumento maior sobre a temperatura de superfície (1,59 °C) em relação dos oceanos (0,88 °C) (Parmesan; Morecroft; Trisurat, 2022).

Os riscos observados e projetados por ameaças climáticas, relacionados a exposição e vulnerabilidade, aumentaram (Parmesan; Morecroft; Trisurat, 2022). As florestas de mangue, devido sua localização entre marés, está exposta a uma série de processos, incluindo, tempestades tropicais, elevação do nível do mar e a perda

da vegetação não apenas por fatores climáticos, mas também sociais e econômicos (Adame *et al.*, 2021; Duarte *et al.*, 2020; Ward *et al.*, 2016).

Todos esses fatores geraram uma preocupação e iniciativa para implementação de ações de conservação desses ecossistemas (Friess *et al.*, 2019). Os manguezais são um ecossistema de alta prioridade para uma série de iniciativas de conservação, como o International Blue Carbon, que está sendo cada vez mais discutido para cumprir as promessas do Acordo de Paris e da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Nesse contexto, observa-se que a conservação dos manguezais tem ganhado um grande impulso internacional com a conscientização do público e do governo (Friess *et al.*, 2020).

Os manguezais são sumidouros de carbono eficientes, sequestrando carbono em sua biomassa e sedimentos acima do solo e abaixo do solo (Alongi, 2014; Giri *et al.*, 2011). Os manguezais também são capazes de estabilizar as linhas costeiras e proteger as paisagens da erosão. As florestas de mangue também contribuem significativamente para a subsistência dos habitantes costeiros por meio da pesca, fontes de madeira e lenha e produtos florestais não madeireiros (Donato *et al.*, 2011). A América do Sul possui a segunda maior área (2.062.231,25 ha) com uma elevada densidade de AGB ($111,33 \pm 58,70$ Mg/ha) (HU *et al.*, 2020).

O objetivo deste estudo é fornecer um levantamento temporal das áreas protegidas, avaliando o estado de conservação dos manguezais amazônicos, realizando uma comparação da estimativa de biomassa acima do solo para mangues amazônicos entre os de 2010 e 2018.

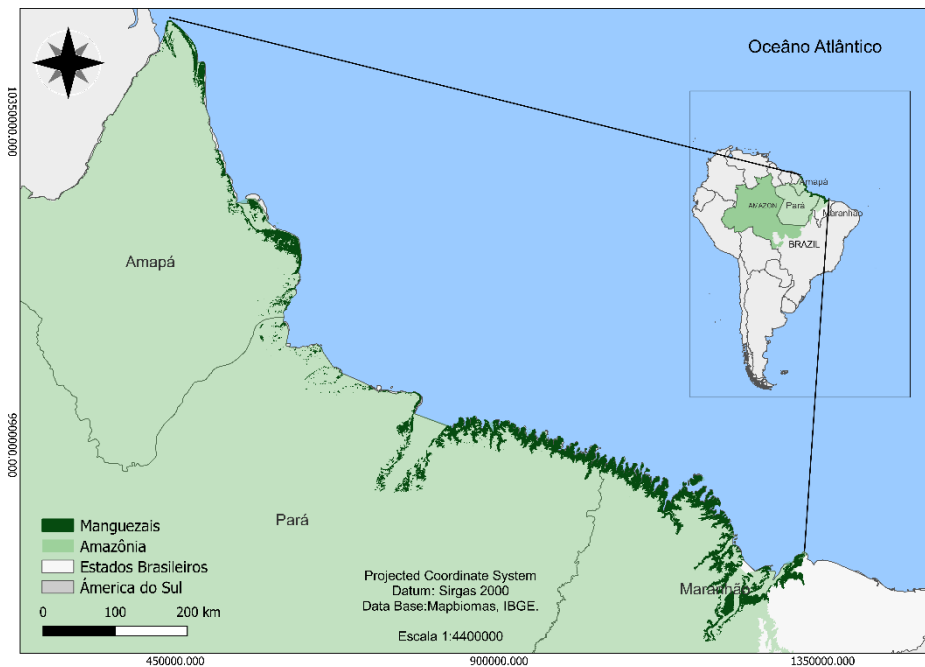
3.2 Material e métodos

3.2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende toda a floresta de mangue presente na costa atlântica amazônica, que ocorre ao longo de uma extensa linha de costa (figura 7), estendendo-se em linha reta por 600km, do estado do Amapá até a baía de São José no Maranhão (Costa Neto; Senna; Coutinho, 2006; Souza Filho, 2005). Apresenta a maior faixa contínua de manguezal do mundo e um conjunto diversificado de ambientes composto por sedimentos dos períodos geológicos terciário e quaternário. Nas três grandes áreas amazônicas costeiras urbanizadas, habitam aproximadamente 2,8 milhões de habitantes, que se concentraram por meio de um processo urbanização desordenado e com vários problemas

de cunho socioambiental, como desmatamento, poluição, turismo desordenado, entre outros (Fernandes, 2016).

Figura 7- Localização da área de estudo: Florestas de Mangue na Costa Atlântica Amazônia



Fonte: Elaborado pela autora

3.2.2 Banco de Dados

Neste estudo, utilizou-se a rede MapBiomias, que é uma iniciativa do Observatório do Clima e do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), para classificar o uso e cobertura da terra. Essa metodologia utiliza a computação em nuvem Google Earth Engine (GEE) para processar os dados do satélite Landsat. (MAPBIOMAS, 2022).

Para este estudo foi realizado a aquisição dos dados da classe de mangue, a partir dos mapas de uso e cobertura da terra, os quais são disponibilizados por meio de arquivo *raster* que contém todas as classes mapeadas pelo MapBiomias. A aquisição da classe de mangue foi feita pelo kit de ferramentas, apenas para o ano de 2020, pois a área total de floresta de mangue não sofreu grandes alterações nos últimos 36 anos (1985-2020) (Diniz *et al.*, 2019).

O Banco e Dados Mundial de Áreas Protegidas (WDPA), de julho de 2022, foi utilizado como fonte de dados das Unidade de Conservação (UC) (UNEP-WCMC, 2019),

considerando apenas as unidades que estão dentro da área de estudo delimitada pelo arquivo do MapBiomias, das esferas federal e estadual, dos dois grupo Uso Sustentável(US) e Proteção Integral(PI). Os dados do WPDA foram coletados para verificar o nome da unidade, esfera, unidade federal responsável, área, categoria, e ano de criação. Como fonte de dados complementar utilizou-se os dados Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) para conferir os dados relacionados a classificação das áreas pelo país e adicionar o tipo de grupo de cada UC.

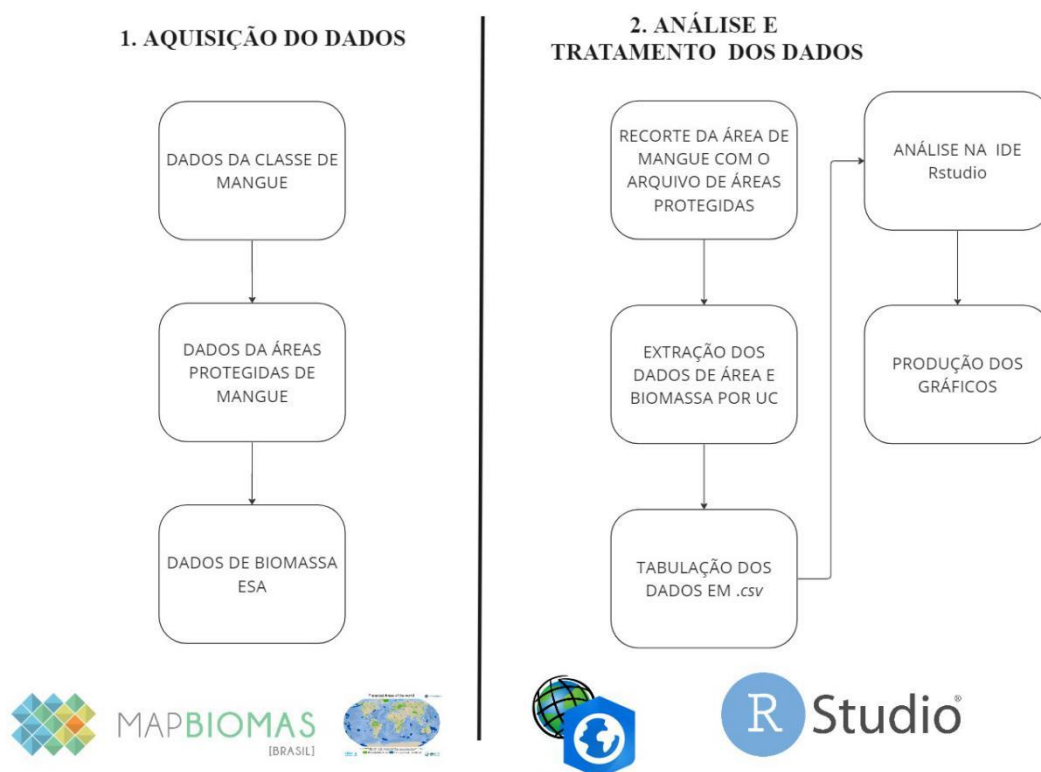
Para este estudo utilizamos também os dados de estimativa de biomassa florestal acima do solo para os anos de 2010 e 2018. Os dados foram adquiridos a partir do programa Climate Change Initiative (CCI) da Agência Espacial Europeia (ESA) pela equipe Biomass CCI. A biomassa acima do solo (AGB) está em MgC/ha, em arquivo GeoTiff (Santoro, 2021).

3.2.3 Processamento dos dados

Para a análise dos dados espaciais, foi utilizado o software livre QGIS 3.20. As etapas incluíram (figura 8) a conversão dos dados do MapBiomias de formato *raster* para *shapefile* usando a Ferramenta de Conversão *Raster* para Vetor. Em seguida, a área de estudo (classe de mangue - MapBiomias) foi recortada utilizando a ferramenta de recorte com base nos dados do WDPA (World Database on Protected Areas). O resultado foi um arquivo *shapefile* contendo os polígonos das áreas das unidades de conservação (UCs) em manguezais, que foi salvo como tabela em formato CSV (Valor Separado por Vírgula), contendo informações como nome da unidade, grupo, categoria, esfera, ano de criação e área.

Para a análise comparativa dos dados de biomassa, foi utilizada a ferramenta Estatística Zonal da caixa de ferramentas do QGIS. Essa ferramenta permitiu obter os valores de biomassa por polígono das UCs, utilizando o arquivo com os polígonos do recorte das áreas. Em seguida, os dados foram convertidos para o formato CSV por meio da ferramenta de exportação.

Figura 8- Fluxograma de processamento dos dados e criação dos gráficos



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.4 Análise dos dados

Após o processamento de dados, realizamos a análise descritiva das variáveis utilizando o Ambiente de Desenvolvimento Integrado RStudio 4.2.1, software livre. Dessa forma, os dados para verificar o comportamento da criação das áreas durante os anos e posteriormente foram analisados com relação a área, ano de criação, categoria, esfera, grupo e estado. Além disso, foram gerados produtos para comparação entre os dados analisados e os dados de biomassa por polígono de UC, para verificar como foi o comportamento dessa variável entre 8 anos (2010-2018). Então procurou-se verificar as informações e correlacionar por meio de gráficos para verificar a existência de um padrão da distribuição ao longo da área de estudo.

3.3 Resultados e discussão

Obtivemos a área total e as respectivas porcentagens de UC por estado, sendo: Maranhão (468 mil ha), Pará (227 mil ha) e Amapá (78 mil ha). O Maranhão apresentou

maior % de área protegida com 85,74%, seguido do Amapá (78,51%) e Pará (69,35%) (Tabela 2).

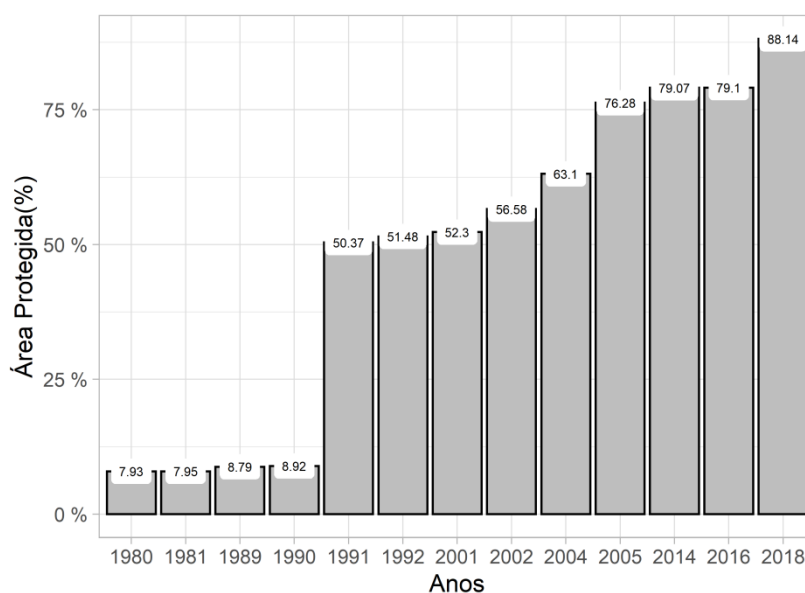
Tabela 2- Áreas de mangue, área de UC, e % de UC por estado

Estado	Área Protegida(ha)	Área de mangue (ha)	% protegida
AP	61.874,65	78.812,42	78,51
MA	402.066,77	468.961,8	85,74
PA	157.613,57	227.258,59	69,35
Total	621.554,99	775.032,81	80,20

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à proteção dos mangues na região amazônica, observa-se que 80,2 % dessas áreas estão dentro de alguma unidade de conservação. Observamos também a evolução das unidades de conservação na Amazônia, que teve suas primeiras áreas criadas entre 1980 até 2018(figura 9).

Figura 9- Crescimento de área protegida calculado a partir da versão de julho de 2022 do Banco Mundial de Áreas Protegidas (WDPA) para área de mangue brasileira.



Fonte: Elaborado pela autora.

É perceptível uma movimentação da proteção dos manguezais na Amazônia (figura 8), devido ao início da nova fase no ambientalismo mundial, na década de 70, que gerou reflexos que seriam sentidos na política brasileira. Na Figura 8 é possível observar que a na década de 80 começa a criação das unidades de conservação em manguezais,

com um crescente aumento. Isto tem relação com a promoção de diversos encontros internacionais, como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em 1972, em Estocolmo, o Brasil se posicionou de maneira pouco propensa a priorização do meio ambiente em suas ações governamentais, uma vez que o objetivo central e imediato era o crescimento econômico (Medeiros, 2005; Peccatiello, 2011).

Os Acordos internacionais foram estabelecidos para proteger os manguezais e promover sua conservação como ecossistemas únicos. Embora ainda pouco expressivo, é possível observar no Brasil o início da criação de Unidades de Conservação que abrangem florestas de mangue em seu interior. O Brasil busca ferramentas de gerenciamento costeiro desde a década de 1970, levando à criação do Programa de Gerenciamento Costeiro (GERCO) em 1987, o qual articulou-se e criou, em 1988, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) através da Lei 7.661/88. Devido aos problemas e limitações para alcançar os objetivos propostos, foi lançado em 1997 a segunda versão do plano, o PNGC II (Brasil, 1988; Sobrinho, 2006; Souza, 2009).

Outros instrumentos internacionais contribuem para a proteção das florestas de mangue, como a Convenção sobre Mudança do Clima, Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e Flora Selvagens em Perigo de Extinção (CITES) e a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Por serem de natureza internacional, estas não exprimem dispositivos específicos de proteção dos manguezais, mas evidenciam por meio diretrizes a conservação e proteção dessas áreas.

Nesse sentido, a criação das UCs no Brasil é realizada pela presença da iniciativa política ou social, ou ambas, desde a criação da primeiras UC até a consolidação das posteriores, verifica-se a necessidade de estudos, discussão, e a divulgação da relevância desse ecossistema para que seja protegido (Meira; Nascimento; Silva, 2018), dessa forma em 1992 observação que cerca de 51% da áreas de mangues estão inseridas em UC (figura 8).

Nos anos 2000, verifica-se o resultado do que era pretendido desde o final dos anos 1970, a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação-SNUC, instrumento jurídico que determina a gestão, monitoramento e fiscalização de unidades de conservação, foi instituído pela Lei 9.985 de 00 (Brasil, 2000). Observa-se que de 1981 a 2000 o gráfico (Figura 9) é crescente mostrando que a quantidade de hectares de áreas protegidas está aumentando, estando associado a implementação dessas legislações e das

convenções internacionais que trouxeram como pauta a proteção dos manguezais, promovendo o aumento das unidades de conservação no país.

Em 2012 é instituído o novo código florestal brasileiro que estabelece normas gerais sobre a proteção e preservação de vegetação nativas, Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), entre outros. Estabelece que é necessário proteger a integridade das florestas de mangues para que haja manutenção na produtividade biológica e na posição de berçário de recursos pesqueiros, como também a proteção dos processos ecológicos essenciais a eles relacionada (Brasil, 2012).

Dessa forma, pode ser observado na tabela 3, que a maior porcentagem de UC, são de Uso Sustentável (US) com cerca de 90%, sendo 48,4% de US estadual, seguida de US federal com 41,5%. Sendo o restante, 9,9% protegido por UCs de Proteção Integral, 9,01 de esfera estadual e 0,9% de esfera federal.

Tabela 3- Total de área protegida e porcentagem calculado a partir da versão de julho de 2022 do Banco Mundial de Áreas Protegidas (WDPA), com base na divisão por Estado e Área

Estado	Estadual*		Federal*	
	PI**	US**	PI**	US**
AP	55.927,16	0	5.947,49	0
MA	12,51	292.330,09	0	109.724,17
PA	76,05	8.928,43	0	148.609,09
%	9,01	48,47	0,96	41,56

*Esfera; **Grupo

Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, a partir desses resultados, é verificado que as áreas de manguezais na região amazônica são em menor parte de proteção integral, como as reservas biológicas, porque historicamente essas áreas têm sido utilizadas para atividades econômicas como a pecuária, a agricultura e a exploração madeireira. Em vez disso, as áreas de manguezais na Amazônia são frequentemente protegidas por unidades de conservação do grupo de uso sustentável, como as Reservas Extrativistas (RESEX) e as Áreas de Proteção Ambiental (APAs). Nessas áreas, é permitido o uso sustentável dos recursos naturais,

desde que sejam adotadas práticas de manejo adequadas e que respeitem os limites ecológicos do ecossistema (Brasil, 2000)

Não há unidade de conservação na área de estudo é gerenciada pelo governo municipal (Tabela 4). A maioria das áreas de manguezal protegidas é gerenciada pelo governo estadual ou federal e geralmente enfrenta escassez de recursos financeiros, limitando sua capacidade de gestão. Investimentos em infraestrutura de gestão podem ajudar a reduzir a vulnerabilidade dessas áreas aos impactos da expansão urbana.

As unidades de conservação visam garantir os serviços ecossistêmicos prestados por esses ecossistemas. No entanto, as perdas de manguezais foram grandes e que a atenção por meio das políticas internacionais deve continuar, para que impactem em compromissos, e que a luta para que a conservação dessas áreas continue, os sistemas de mangue conservados ou reabilitados são ecologicamente funcionais e adaptáveis para os riscos das alterações climáticas (Friess *et al.*, 2020).

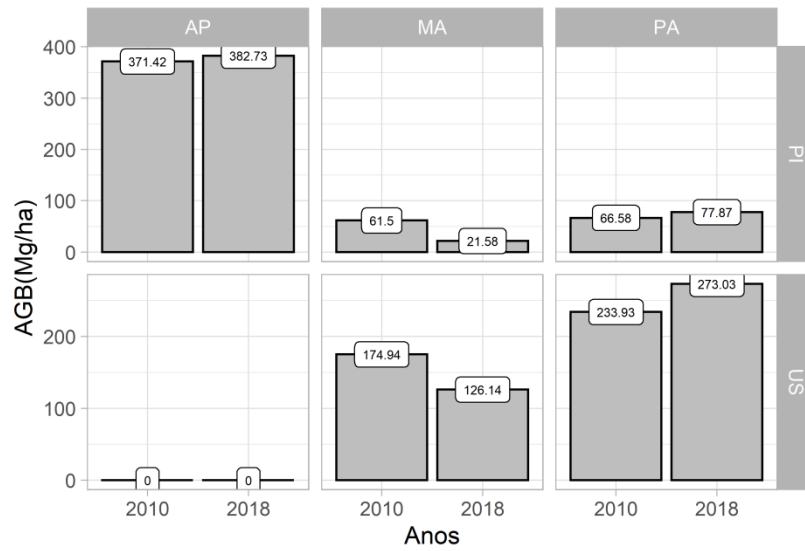
Com a atualização e política do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, foi fomentando pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) a criação o Projeto Manguezais do Brasil, com o objetivo de fortalecer a capacidade do país em promover a conservação e o uso sustentável dos recursos em ecossistemas manguezais. Através da melhoria do Sistema Nacional de Unidades de Conservação e da designação de áreas de preservação permanente, o projeto é executado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), que busca elaborar uma estratégia de gestão de áreas protegidas para a conservação efetiva de uma amostra representativa dos ecossistemas manguezais no Brasil (ICMBio, 2020)

O projeto visa solucionar as deficiências existentes que comprometem a efetividade do manejo, promovendo a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas manguezais e das funções e serviços ambientais necessários para o desenvolvimento nacional e para o bem-estar das comunidades litorâneas. Espera-se que as ações tomadas pelo projeto auxiliem na conservação de 568 mil hectares de manguezais, considerados de relevância mundial, além de gerar impactos positivos nos meios de vida das comunidades que dependem desse ecossistema (Ministério do Meio Ambiente-MMA, 2018).

Posterior a isto, realizamos então, após a análise dos dados de área de UCs ao longo dos anos, a comparação da média biomassa acima do solo (AGB), pela qual

observamos um comportamento diferente em cada Estado analisado. No Amapá e Pará para áreas Proteção Integral houve um aumento da AGB (figura 10), de 371,42 para 382,73, no Pará de 66,58 para 77,87, e Maranhão houve uma redução (61,5-21,58). Enquanto nas UCs de Uso sustentável, no Pará observamos um aumento (233,93-273,03) e no Maranhão uma redução (174,94-126,14) da Biomassa (Figura 9).

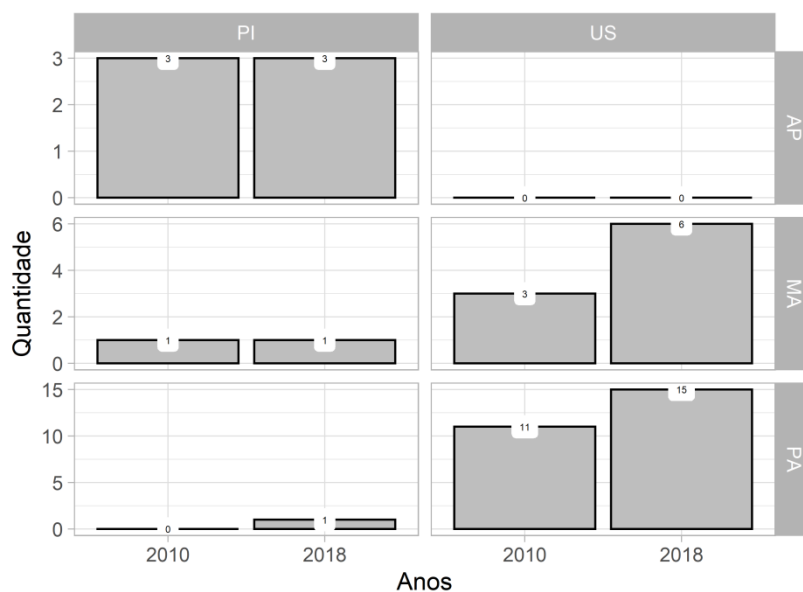
Figura 10- Média de Biomassa por Ano com base na divisão por Estado e Grupo de UCs



Fonte: Elaborado pela autora.

É importante salientar que também houve diferenças na quantidade de unidades de conservação entre os grupos (PI e US) e os anos comparados (2010-2018). A Figura 10 demonstra que somente o Pará apresentou variação nos dois grupos, tendo acréscimo de uma unidade de PI e quanto unidades de US. O Maranhão teve variação das UCs somente para US com aumento de três unidades. O Amapá não apresentou variação na quantidade de UCs.

Figura 11- Quantidade de áreas protegidas por ano com base na divisão por Estado e Grupo de Ucs



Fonte: Elaborado pela autora.

Esse aumento na quantidade de UCs no Pará e Maranhão, visa garantir a proteção dessas áreas e uso sustentável dos recursos naturais disponível, porém é fundamental a criação de medidas efetivas de monitoramento e fiscalização, para o fortalecimento da conservação e das políticas públicas voltadas para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável da região.

Nos dados de biomassa (tabela 4), a média geral apresentada foi de 125,71 MgC.ha-1. O estoque médio de carbono para o Pará foi de 116,18, do Maranhã 80,30, e do Amapá, 180,65. Os valores de biomassa observados neste estudo são superiores à média encontrada no estudo de Hu *et al.* (2020), neste estudo, a média de biomassa para o Brasil foi de $81,09 \pm 44$, o que é a menor média encontrada entre outras regiões do mundo. No entanto, a soma total de AGB não é uma das maiores. Apenas a estimativa utilizada resultou em um valor inferior ao encontrado em nosso estudo. É importante destacar que a avaliação realizada neste estudo se concentrou exclusivamente na região amazônica.

Tabela 4- Densidade média de AGB e total de AGB por estado dentro de UCs vegetação florestas de mangue em seu interior

ESTADO	2010			2018		
	AGB médio (MgC/ha)	Área de Mangue Protegida(ha)	de AGB total (MgC)	AGB médio (MgC/ha)	Área de Mangue Protegida(ha)	de AGB total (MgC)
AP	180,65	61.874,65	9.622.072	187,93	61.874,65	10.775.984
MA	80,30	338.307,77	33.579.706	56,89	402.066,77	31.138.300
PA	116,18	137.756,33	17.787.093	131,78	157.613,57	19.717.177
Total	125,71	537.938,75	60.988.871	125,53	621.554,99	61.631.461

Fonte: Elaborada pela autora.

Uma análise global de núcleos de sedimentos de manguezais indica que esses ecossistemas têm a capacidade de acumular sedimentos em níveis de elevação do nível do mar previstos em cenários de baixa emissão. No entanto, em cenários de alta emissão, os manguezais podem perder sedimentos em sua borda marítima. Apesar da erosão costeira, a expansão dos manguezais para o interior, decorrente do aumento do nível do mar, pode aumentar o sequestro de carbono (Saintilan *et al.*, 2020).

Com base nos dados apresentados (Figura 4), que mostram uma redução na biomassa acima do solo (AGB) no Maranhão, que indica um aumento no número de unidades de conservação (UCs) (Figura 5), e o comportamento do estado Paraense também apresentou aumento na quantidade UCs (Figura 4), e a elevação da AGB (Figura 3) pouco significativa. O estudo de Hayashi *et al.* (2021) constatou que as microrregiões Litoral Oeste do Maranhão apresentaram os maiores percentuais de impacto no mangue, enquanto na microrregião de São Luís foi registrada a maior densidade de estradas, principalmente devido à presença de estradas pavimentadas. Já na microrregião Bragantina (Pará), a alta densidade de estradas foi causada principalmente pelo número de estradas não pavimentadas. Isso indica que a expansão da rede rodoviária ao longo da costa amazônica brasileira é um dos principais preditores do impacto antrópico na região, em conformidade com o comportamento observado na AGB avaliada para a região.

Esses ecossistemas capturam carbono da água do mar e da água doce, além de realizar a fotossíntese e armazenar esses compostos em seus sedimentos subjacentes. A gestão costeira que permita a expansão dos manguezais para o interior pode aumentar ainda mais o sequestro de carbono, uma vez que esses ecossistemas têm a capacidade de capturar e

preservar mais carbono em seus sedimentos do que outros biomas terrestres e marinhos (Alongi, 2020; Goldstein *et al.*, 2020; Saintilan *et al.*, 2020).

É importante mostrar que diversos trabalhos no mundo trazem fatores antropogênicos, de conversão de manguezais em viveiros de peixes e camarões é considerada a principal causa de degradação e declínio desses ecossistemas no Sudeste Asiático, por exemplo Murdiyarto *et al.* (2015) (Hayashi *et al.*, 2021) e em muitos países das Américas (Kauffman *et al.*, 2018). Além disso, outras causas de perda incluem a conversão para a agricultura, o desenvolvimento de áreas industriais e urbanas, a extração de madeira e carvão, a poluição e a conversão para águas abertas devido às mudanças climáticas (Servino; Gomes; Bernardino, 2018; Sippo *et al.*, 2018).

Ao compararmos estes resultados com o estudo de Kauffman *et al.* (2018), podemos observar pontos importantes para a análise. Uma possível explicação para as concentrações de carbono e reservatórios dos manguezais amazônicos pode ser atribuída à grande amplitude de maré da região, que pode diminuir as condições anóxicas do solo, as quais facilitariam o acúmulo de carbono (Nóbrega *et al.*, 2016).

Os resultados vão além das questões bioquímicas e físicas do solo e abrangem a quantidade de área de manguezal protegida por unidades de conservação (UCs). No Brasil, os manguezais estão constantemente ameaçados pela conversão para atividades como a aquicultura, indústria e desenvolvimento urbano, que resultaram na destruição de mais de 50.000 hectares, equivalente a cerca de 4% da cobertura total de mangue nas últimas três décadas. Embora os esforços de restauração tenham minimizado as perdas, apenas 5% da área total degradada foi recuperada (Quevedo; Uchiyama; Kohsaka, 2020). Com base em nossa pesquisa, concluímos que cerca de 80,2% dos manguezais brasileiros estão atualmente localizados em unidades de conservação, o que torna seu manejo mais fácil.

Além disso, os manguezais estão sendo perdidos no Brasil devido à conversão para usos urbanos do solo, agricultura e aquicultura. Estima-se que cerca de 25% dos manguezais tenham sido degradados desde o início do século XX, resultando na perda da cobertura vegetal e na degradação dos habitats aquáticos. Essa perda ocorre em áreas consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APP), como restingas e bordas de tabuleiros, que possuem importância ambiental. As atividades que causam a perda dos manguezais geralmente não seguem critérios técnicos e regulatórios. A legislação brasileira estabelece que as APPs são áreas protegidas com a função de preservar recursos hídricos e paisagens, além de garantir o bem-estar das populações humanas.

A produção de biomassa de manguezal pode ser influenciada por fatores ambientais, como a disponibilidade de nutrientes, a salinidade da água e o nível do mar. Por exemplo, a taxa de produção de biomassa em áreas com alta disponibilidade de nutrientes é geralmente maior do que em áreas com baixa disponibilidade de nutrientes (Kauffman *et al.*, 2018). Além disso, a elevação do nível do mar pode afetar a produtividade do manguezal, pois reduz a disponibilidade de luz e aumenta a inundação das áreas de manguezal. No entanto, os manguezais podem adaptar-se a essas mudanças ambientais, por meio de processos de adaptação evolutiva e fisiológica, que podem ajudá-los a manter sua capacidade de sequestrar carbono a longo prazo (Bezzerra; Amaral; Kampel, 2014).

Os manguezais são ecossistemas altamente produtivos que têm o potencial de armazenar grandes quantidades de carbono acima e abaixo do solo. Sua capacidade de sequestrar carbono pode ser influenciada por fatores ambientais, como a disponibilidade de nutrientes, a salinidade da água e o nível do mar, bem como pela idade e estágio de desenvolvimento do povoamento. No entanto, quando deixados relativamente intocados, os manguezais podem constituir um sumidouro de carbono por até um século, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

Contudo, prejudicado por interesses econômicos e inibido pela falta de políticas e melhores práticas operacionais de conservação, o futuro da conservação de manguezais no Brasil depende da integração das comunidades indígenas e tradicionais, que dependem dos bens e serviços dos manguezais, com a ciência e outros setores da sociedade por meio de uma cogestão integrada baseada na comunidade científica. ONGs, agências governamentais, instituições acadêmicas e agências de financiamento podem desempenhar um papel crucial como agentes de ação e geração de sensibilização (Datta; Chattopadhyay; Guha, 2012).

De acordo com a Tabela 2, nenhuma unidade de conservação na área de estudo é gerenciada pelo governo municipal. A maioria das áreas de manguezal protegidas é gerenciada pelo governo estadual ou federal e geralmente enfrenta escassez de recursos financeiros, limitando sua capacidade de gestão. Investimentos em infraestrutura de gestão podem ajudar a reduzir a vulnerabilidade dessas áreas aos impactos da expansão urbana.

3.4 Conclusão

Este estudo ressalta a importância crucial da proteção dos manguezais na região amazônica. Os resultados revelaram uma porcentagem significativa das áreas de

manguezais dentro de unidades de conservação (UCs). A criação e evolução das UCs ao longo das últimas décadas demonstram um movimento crescente de conservação dos manguezais, em resposta a acordos internacionais e demandas ambientais. Essas UCs desempenham um papel fundamental na preservação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos manguezais e na promoção de práticas sustentáveis de uso dos recursos naturais. No entanto, é necessário enfatizar que a proteção integral dos manguezais ainda enfrenta desafios, devido ao histórico de atividades econômicas prejudiciais nesses ecossistemas. A implementação de políticas e estratégias de conservação, como o Projeto Manguezais do Brasil, fortalece a capacidade do país em garantir a conservação e o uso sustentável desses ecossistemas únicos. É essencial o estabelecimento de medidas eficazes de monitoramento e fiscalização para assegurar a efetividade da gestão e a proteção contínua dos manguezais, visando ao desenvolvimento sustentável da região e ao bem-estar das comunidades costeiras. A partir desses esforços, podemos contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, a preservação da biodiversidade e a promoção do equilíbrio ecológico dos manguezais amazônicos.

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. Carbon balance in salt marsh and mangrove ecosystems: A global synthesis. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 10, p. 1–21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse8100767>
- BEZERRA, D. D. S.; AMARAL, S.; KAMPEL, M. Impactos Da Elevação Do Nível Médio Do Mar Sobre O Ecossistema Manguezal: a Contribuição Do Sensoriamento Remoto E Modelos Computacionais. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 152–162, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460x12569>
- COSTA NETO, S. V.; SENNA, C. S. F.; COUTINHO, R. S. Inventário Biológico Das Áreas Do Sucuriju E Região Dos Lagos, No Amapá. p. 41–79, 2006.
- DATTA, D.; CHATTOPADHYAY, R. N.; GUHA, P. Community based mangrove management: A review on status and sustainability. **Journal of Environmental Management**, v. 107, p. 84–95, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.013>.
- DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11070808>
- DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 5, p. 293–297, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>

DUARTE, C. M.; AGUSTI, S.; BARBIER, E.; BRITTEN, G. L.; CASTILLA, J. C.; GATTUSO, J.; FULWEILER, R. W.; HUGHES, T. P. Rebuilding marine life. **Nature**, v. 580, n. February, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>

FERNANDES, M. E. B. **Os manguezais da costa norte brasileira**. Bragança: [s. n.], 2016. *E-book*. Disponível em: www.ufpa.br/lama

FRIESS, D. A. *et al.* conservation optimism , for now. **Current Biology**, v. 30, n. 4, p. R153–R154, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.054>

FRIESS, D. A.; ROGERS, K.; LOVELOCK, C. E.; KRAUSS, K. W.; HAMILTON, S. E.; LEE, S. Y.; LUCAS, R.; PRIMAVERA, J. The State of the World ' s Mangrove Forests : Past , Present , and Future. 2019.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 154–159, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>

GODOY, M. D. P.; LACERDA, L. D. D. E. Mangroves Response to Climate Change : A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. 2015.

GOLDSTEIN, A. *et al.* Protecting irrecoverable carbon in Earth's ecosystems. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 4, p. 287–295, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0738-8>

HAYASHI, S. N.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; NASCIMENTO, W. R.; FERNANDES, M. E. B. The effect of anthropogenic drivers on spatial patterns of mangrove land use on the Amazon coast. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1–20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217754>

HERR, D.; PIDGEON, E.; LAFFOLEY, D. **Blue Carbon Policy Framework: Based on the discussion of the International blue Carbon Policy Working Group**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <http://www.iucn.org/about/>

HU, T.; ZHANG, Y. Y.; SU, Y.; ZHENG, Y.; LIN, G.; GUO, Q. Mapping the global mangrove forest aboveground biomass using multisource remote sensing data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12101690>

ICMBIO. Atlas dos Manguezais do Brasil. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, [S.l.]: ICMBIO, 2018. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. **Boas práticas**: conheça as iniciativas que buscam soluções para gestão de unidades de conservação no Brasil. [Brasília,DF]: ICMBIO, 2018.

KAUFFMAN, J. B.; BERNARDINO, A. F.; FERREIRA, T. O.; GIOVANNONI, L. R.; GOMES, L. E. D. O.; ROMERO, D. J.; KAUFFMAN, J. B. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region , Brazil. 2018.

MEDEIROS, R. Áreas Protegidas No Brasil *. **Ambiente & Sociedade**, v. IX, n. 1, p. 42–64, 2005.

MEIRA, S. A.; NASCIMENTO, M. A. L. do; SILVA, E. V. da. Unidades de conservação e geodiversidade: uma breve discussão unidades de conservación y geodiversidad: una breve discusión. *Terr@ Plural*, v. 12, n. 2, p. 166–187, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.12i2.0002>.

MURDIYARSO, D.; PURBOPUSPITO, J.; KAUFFMAN, J. B.; WARREN, M. W.; SASMITO, S. D.; DONATO, D. C.; MANURI, S.; KRISNAWATI, H.; TABERIMA, S.; KURNIANTO, S. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, v. 5, n. 12, p. 1089–1092, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>

NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; SIQUEIRA NETO, M.; QUEIROZ, H. M.; ARTUR, A. G.; MENDONÇA, E. D. S.; SILVA, E. D. O.; OTERO, X. L. Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 542, p. 685–693, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.108>

PECCATIELLO, A. F. O. Ana Flávia Oliveira PECCATIELLO *. n. 1930, p. 71–82, 2011.

PARMESAN, Camille; MORECROFT, Mike D.; TRISURAT, Yongyut. **Climate change 2022 impacts, adaptation and vulnerability**. [S.l.]: IPCC. 2022.

QUEVEDO, J. M. D.; UCHIYAMA, Y.; KOHSAKA, R. Perceptions of the seagrass ecosystems for the local communities of Eastern Samar, Philippines: Preliminary results and prospects of blue carbon services. *Ocean and Coastal Management*, v. 191, n. March, p. 105181, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105181>

SAINTILAN, N.; KHAN, N. S.; ASHE, E.; KELLEWAY, J. J.; ROGERS, K.; WOODROFFE, C. D.; HORTON, B. P. Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science*, v. 368, n. 6495, p. 1118–1121, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aba2656>

SCHMIDT, M. W. I. *et al.* Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10386>

SERVINO, R. N.; GOMES, L. E. de O.; BERNARDINO, A. F. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. *Science of the Total Environment*, v. 628–629, p. 233–240, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.068>

SIPPO, J. Z.; LOVELOCK, C. E.; SANTOS, I. R.; SANDERS, C. J.; MAHER, D. T. Mangrove mortality in a changing climate: An overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 215, p. 241–249, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>

SITOE, A. A.; MANDLATE, L. J. C.; GUEDES, B. S. Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. *Forests*, v. 5, n. 8, p. 1967–1981, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f5081967>

SOUZA, C. R. de G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil.

Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 9, n. 1, p. 17–37, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5894/rgci147>

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos.

Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2005000400006>

UNEP-WCMC. User Manual for the World Database on Protected Areas and world database on other effective area- based conservation measures: 1 6 User Manual for the World Database on Protected Areas and world database on other effective area-. 2019. Disponível em: https://resources.unep-wcmc.org/products/WCMC_CB007

WARD R. D., D. A. FRIESS, R. H. DAY, and R. A. MACKENZIE. 2016 Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. **Ecosystem Health and Sustainability** 2(4):e01211. doi: 10.1002/ehs2.1211

4 CONCLUSÃO GERAL

4.1 Resultados chaves

O estudo de avaliação das exposições das UCs as mudanças climáticas sugerem que há uma tendência de aumento da temperatura média anual nos manguezais ao longo do tempo, indicando um possível aumento contínuo da temperatura. As estimativas de temperatura variaram entre os diferentes cenários climáticos, destacando a influência das trajetórias de emissões de gases de efeito estufa. O cenário SSP5-8.5 apresentou as estimativas de temperatura mais elevadas. Os aumentos da temperatura foram mais pronunciados nos períodos mais distantes, indicando um agravamento das mudanças climáticas ao longo do tempo, que serão sentidas em maior grau a leste das áreas de manguezais.

A precipitação acumulada apresentou média atual é de 2309.105, variando entre 1423.00 e 3364.00. Projetam-se variações nas médias de precipitação nos períodos futuros analisados (2021-2040, 2041-2060 e 2081-2100) e em diferentes cenários climáticos. Os cenários mais otimistas apresentam menor variação na precipitação, enquanto os mais pessimistas mostram uma redução mais acentuada. Essas variações indicam uma redução da precipitação da região, principalmente a oeste.

No segundo artigo com base nos dados apresentados, observou-se uma redução significativa na biomassa acima do solo (AGB) nos manguezais do Maranhão, o que indica um possível impacto negativo. No entanto, também foi constatado um aumento no número de unidades de conservação (UCs) nessa região, o que pode ajudar na proteção e conservação desses ecossistemas. Por outro lado, no estado do Pará, houve um aumento pouco significativo na AGB, acompanhado por um aumento na quantidade de UCs. No Amapá o número de UCs se manteve e a AGB aumento de 2010 para 2018.

A distribuição espacial da biomassa aérea nos manguezais é influenciada pela temperatura média e pelos padrões de precipitação. As alterações na temperatura e na precipitação podem afetar a quantidade de biomassa aérea encontrada em diferentes áreas de manguezais. Reduções na precipitação podem afetar negativamente a salinidade, produtividade, crescimento e sobrevivência das plantas de mangue, assim como os estoques de carbono.

Esses resultados destacam a vulnerabilidade dos manguezais amazônicos às mudanças climáticas, com potenciais impactos na distribuição de espécies, dinâmica ecológica, disponibilidade de água, salinidade e resiliência geral dos manguezais. As projeções indicam um possível aumento da temperatura e variações na precipitação futura, o que requer a implementação de estratégias de conservação e adaptação para garantir a saúde e a sustentabilidade desses ecossistemas costeiros vitais. A preservação das áreas de proteção e a consideração desses resultados na tomada de decisões são essenciais para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

4.2 Conclusões de forma integrada

A conclusão integrada dos resultados apresentados é que os manguezais da região amazônica estão vulneráveis às mudanças climáticas, com potenciais impactos negativos na distribuição de espécies, dinâmica ecológica e disponibilidade de água. As projeções indicam aumentos na temperatura média anual e variações nas médias de precipitação, o que pode afetar a produtividade, o crescimento e a sobrevivência das plantas de mangue, bem como os estoques de carbono. Essas mudanças climáticas ressaltam a importância de medidas de adaptação e conservação nas unidades de conservação dos manguezais amazônicos.

A criação de áreas protegidas, como unidades de conservação, desempenha um papel fundamental na proteção dos manguezais e na promoção de meios de subsistência sustentáveis para as comunidades costeiras. No entanto, é necessário fortalecer a gestão e monitoramento dessas áreas, considerando as projeções climáticas e a efetividade das unidades de conservação existentes. Políticas públicas devem ser implementadas para garantir a preservação adequada dos ecossistemas de manguezal e a manutenção da biomassa acima do solo.

É importante ressaltar que o sucesso na conservação dos manguezais requer o envolvimento de diversas partes interessadas, incluindo governos, comunidades locais, cientistas e organizações não governamentais. A conscientização sobre a importância dos manguezais e a promoção de práticas sustentáveis são essenciais para garantir a saúde e a resiliência desses ecossistemas vitais.

Ao adotar medidas de mitigação e adaptação, investindo na criação e manutenção de unidades de conservação bem gerenciadas e promovendo ações integradas de

conservação ambiental, construiremos um futuro mais resiliente e sustentável para as gerações futuras. A proteção dos manguezais não apenas preserva a biodiversidade, mas também contribui para a proteção costeira e para o bem-estar das comunidades que dependem desses ecossistemas valiosos.

4.3 Prioridades para pesquisas futuras

Os manguezais amazônicos enfrentaram grandes impactos devido às mudanças climáticas. Para compreender melhor o comportamento dessas regiões no futuro, é sugerido testar outras variáveis bioclimáticas além das adotadas. Essas análises devem considerar também questões políticas, legislações, gestão, gerenciamento e fiscalização das áreas, uma vez que muitas delas são de uso sustentável e estão sujeitas a pressões antrópicas, embora em menor escala.

Os próximos passos dessa pesquisa, projetados oportunamente para uma tese de doutorado, envolvem a inclusão de mais variáveis na análise. Uma hipótese central será explorar como ocorrerá a espacialização dessas áreas para o continente e analisar como a vegetação responderia às condições climáticas favoráveis desses ecossistemas. Além disso, será indispensável reavaliar os aspectos bem-sucedidos e mal-sucedidos das diferentes experiências já realizadas na região, de forma a obter insights valiosos para orientar futuras ações de conservação

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.76, n.1, p. 1–13, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>.
- ALONGI, D. M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon Management**, v. 3, n. 3, p. 313-322, 2012. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.
- COSTANZA, R.; GROOT, R.de; SUTTON, P.; van der PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v.26, n.1, p.152–158, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- DINIZ, C., Cortinhas, L., Nerino, G., Rodrigues, J., Sadeck, L., Adami, M., & SOUZA-FILHO, P. W. M. (2019). Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. **Remote Sensing**, 11(7). <https://doi.org/10.3390/rs11070808>
- DONATO, D. C., KAUFFMAN, J. B., MURDIYARSO, D., KURNIANTO, S., STIDHAM, M., & KANNINEN, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- FRIESS, D. A., ROGERS, K., LOVELOCK, C. E., KRAUSS, K. W., HAMILTON, S. E., LEE, S. Y., LUCAS, R., & PRIMAVERA, J. (2019). The State of the World’ s **Mangrove Forests : Past , Present , and Future**.
- FRIESS, D. A., YANDO, E. S., ABUCHAHLA, G. M. O., Adams, J. B., CANNICCI, S., Canty, S. W. J., Cavanaugh, K. C., Connolly, R. M., Cormier, N., Diele, K., Feller, I. C., Fratini, S., Jennerjahn, T. C., Lee, S. Y., Ogurcak, D. E., Ouyang, X., Rogers, K., Rowntree, J. K., Sharma, S., ... Wee, A. K. S. (2020). conservation optimism, for now. **Current Biology**, 30(4), R153–R154. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.054>
- GIRI, C., OCHIENG, E., TIESZEN, L. L., ZHU, Z., SINGH, A., LOVELAND, T., MASEK, J., & DUKE, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, 20(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- GODOY, M. D. P., & LACERDA, L. D. D. E. (2015). Mangroves Response to Climate Change : A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution.
- GUZHA, A. C., RUFINO, M. C., OKOTH, S., JACOBS, S., & NÓBREGA, R. L. B. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. In *Journal of Hydrology: Regional Studies* (Vol. 15, pp. 49–67). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.005>
- HERR, D.; PIDGEON, E.; LAFFOLEY, D. (2012). Blue Carbon Policy Framework: Based on the discussion of the International blue Carbon Policy Working Group. **In Iucn**. <http://www.iucn.org/about/>
- ICMBIO. Atlas dos Manguezais do Brasil. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, [S.l.]: ICMBIO, 2018. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf.

NAKICENOVIC, Nebojsa; LEMPERT, Robert J.; JANETOS, Anthony C. A framework for the development of new socio-economic scenarios for climate change research: introductory essay: a forthcoming special issue of climatic change. *Climatic Change*, v. 122, p. 351-361, 2014.

JAYASINGHE, S. L.; KUMAR, L.; SANDAMALI, J. Assessment of potential land suitability for tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in Sri Lanka using a GIS-based multi-criteria approach. *Agriculture, Switzerland*, v. 9, n. 7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture9070148>.

KJERFVE, B.; PERILLO, G. M. E.; GARDNER, L. R.; RINE, J. M.; DIAS, G. T. M.; REBELO-MOCHEL, F. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In: HEALY, T.R.; WANG, Y.; HEALY, J-A. (ed.). *Muddy coasts of the world: processes, deposits and functions*. Amsterdam: Elsevier, N.Y., 2002. p. 479–532.

LACERDA, L. D.; CONDE, J. E.; KJERFVE, B.; ALVAREZ-LEÓN, R.; ALARCÓN, C.; POLANÍA, J. American Mangroves. *Mangrove Ecosystems*, [S.L.], p. 1-62, 2002. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04713-2_1.

MEDEIROS, Rodrigo. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 41-64, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2006000100003>.

MEIRA, S. A., NASCIMENTO, M. A. L. do, & SILVA, E. V. da. (2018). Unidades de Conservação e Geodiversidade: uma breve discussão Unidades de Conservación y Geodiversidad: una breve discusión Conservation Units and Geodiversity: **a brief discussion**. 166–187. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.12i2.0002>

O'NEILL, B. C.; KRIEGLER, E.; EBI, K. L.; KEMP-BENEDICT, E.; RIAHI, K.; ROTHMAN, D. S.; van RUIJVEN, B. J.; van VUUREN, D. P.; BIRKMANN, J.; KOK, K.; LEVY, M.; SOLECKI, W. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 169–180, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.

PINHEIRO, M. A. A.; KRIEGLER, N.; SOUZA, C. A. de; DUARTE, L. F. de A. Feeding habit and lifestyle influence the baseline micronuclei frequency of crab species in pristine mangroves. *Wetlands*, v. 41, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01427-4>.

QUEIROZ, L. de S.; ROSSI, S.; CALVET-MIR, L.; RUIZ-MALLÉN, I.; García-Betorz, S., SALVÀ-PRAT, J.; MEIRELES, A. J. de A. Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. **Ecosystem Services**, v.26, p.137–145, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.013>.

PARMESAN, Camille; MORECROFT, Mike D.; TRISURAT, Yongyut. **Climate change 2022 impacts, adaptation and vulnerability**. [S.l.]: IPCC. 2022.

RIAHI, K.; VAN VUUREN, D. P.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O'NEILL, B. C.; FUJIMORI, S.; BAUER, N.; CALVIN, K.; DELLINK, R.; FRICKO, O.; LUTZ, W.; POPP, A.; CRESPO CUARESMA, J.; SAMIR, K. C.; LEIMBACH, M.; JIANG, L.; KRAM, T.; RAO, S.; EMMERLING, J.; EBI, K.; HASEGAWA, T.; HAVLIK, P.; HUMPENÖDER, F.; DA SILVA, L. A.; SMITH, S.; STEHFEST, E.; BOSETTI, V.; EOM, J.; GERNAAT, D.; MASUI, T.; ROGELJ, J.; STREFLER, J.; DROUET, L.; KREY, V.; LUDERER, G.; HARMSSEN, M.; TAKAHASHI, K.; BAUMSTARK, L.; DOELMAN, J.; KAINUMA, M.; KLIMONT, Z.; MARANGONI, G.; LOTZE-CAMPEN, H.; OBERSTEINER, M.; TABEAU, A.; TAVONI, M. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 153-168, 2016. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-261x20050004000062005>.

SOUZA-FILHO, P. W. M., Giannini, T. C., Jaffé, R., Giulietti, A. M., Santos, D. C., Nascimento, W. R., Guimarães, J. T. F., Costa, M. F., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Siqueira, J. O. (2019). Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation. **PLoS ONE**, 14(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211095>

SPALDING, Mark & TAYLOR, Michelle & RAVILIOUS, Corinna & Short, FREDERICK & Green, E.. (2003). The distribution and status of seagrasses. *World Atlas of Seagrasses*. 5-26. <https://www.researchgate.net/publication/284631982>

UNION, I., & International, C. (2020). **About IUCN**. <https://www.iucn.org/>

VALIELA, I., BOWEN, J. L., & YORK, J. K. (2001). Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. In *BioScience* (Vol. 51, Issue 10, pp. 807-815). **American Institute of Biological Sciences**. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0807:MFOOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2)

WANG, Yuyu; DONG, Peng; HU, Wenjia; CHEN, Guangcheng; ZHANG, Dian; CHEN, Bin; LEI, Guangchun. Modeling the Climate Suitability of Northernmost Mangroves in China under Climate Change Scenarios. **Forests**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 64, 4 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/f13010064>.