

POTENCIAL DE FLORESTAS DE MANGUEZAIS PARA AÇÕES DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA NO BRASIL



**SIMA
CLIM**

Simone Mendes



A capa deste relatório foi criada por Simone Mendes

Simone Mendes é artista visual e se define como Desenhista de Sentimentos. Sua produção transita por diversas linguagens, que vão de murais a delicadas aquarelas sobre papel de algodão. No início da carreira, ilustrou livros didáticos, infantis e revistas para editoras diversas. Com o tempo, aprofundou sua pesquisa em técnicas pictóricas e criou o Laboratório de Aquarela, um workshop voltado ao ensino introdutório da aquarela, democratizando o acesso à prática artística. Sua obra revela um olhar poético e sensível, que busca traduzir emoções em formas e cores.





**SIMA
CLIM**

**POTENCIAL DE
FLORESTAS
DE MANGUEZAIS
PARA AÇÕES DE
MITIGAÇÃO E
ADAPTAÇÃO ÀS
MUDANÇAS
DO CLIMA
NO BRASIL**

2025



Relatório de Síntese

Potencial de Florestas de Manguezais para ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima no Brasil

Autores principais coordenadores:

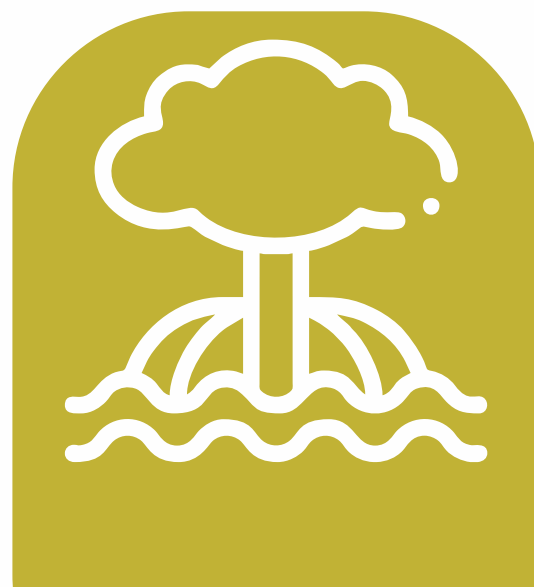
Ângelo Fraga Bernardino (UFES)
Margareth da Silva Copertino (FURG)

Autores principais:

Adriana Risuenho Leão (MMA)
Alessandra Larissa Fonseca (UFSC)
Andre Scarlate Rovai (Smithsonian Environmental Research Center, USA)
Clemente Coelho Junior (UPE)
Dan Friess (Tulane University, USA)
Francisco Carlos Rocha de Barros Junior (UFBA)
Gabriel Nuto Nóbrega (UFC)
Luiz Carlos Cotovicz Junior (UFPR)
Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)
Paulo Roberto Pagliosa Alves (UFSC)
Tiago Osório Ferreira (USP)
Vanessa Hatje (UFBA)

Autores revisores:

Luiz Drude de Lacerda (UFC)
Marília Cunha Lignon (UNESP)
Moacyr Cunha de Araujo Filho (UFPE)



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Manguezais brasileiros como soluções de mitigação e adaptação às mudanças do clima /[autores principais coordenadores Angelo F. Bernardino, Margareth Copertino]. -- 1. ed. -- Recife: Edições Saint Exupery, 2025. -- (Relatórios de Síntese SIMACLIM ; 1)

Vários autores.

Bibliografia

ISBN 978-65-988223-4-7

1. Ecologia dos manguezais 2. Ecossistemas - Aspectos ambientais 3. Manguezais - Conservação 4. Manguezais - Ecologia 5. Meio ambiente - Conservação 6. Meio ambiente - Proteção 7. Mudanças climáticas - Aspectos socioambientais I. Bernardino, Angelo F.. II. Copertino, Margareth. III. Série.

25-290166

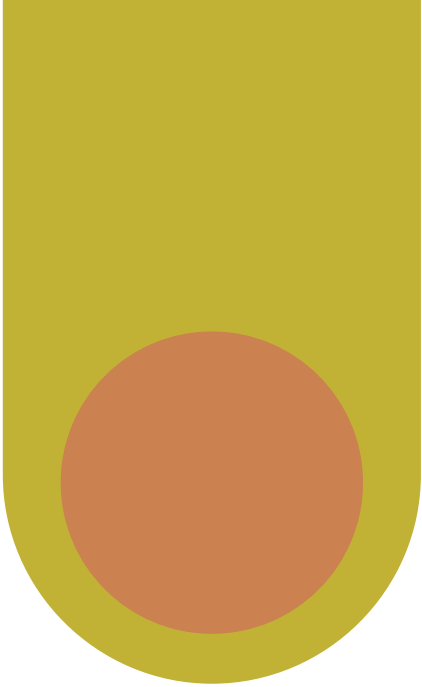
CDD-577.680981

Índices para catálogo sistemático:

1. Manguezais brasileiros : Ecologia 577.680981
Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

SUMÁRIO

RESUMO EXECUTIVO	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. MANGUEZAIS DO BRASIL	12
3. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS: BENEFÍCIOS DOS MANGUEZAIS PARA A SOCIEDADE	16
4. CONDIÇÕES GEOCLIMÁTICAS, TIPOLOGIAS COSTEIRAS E ESTOQUES DE CARBONO	21
5. FONTES E SUMIDOUROS DE GASES ESTUFA	25
6. MANGUEZAIS CONECTADOS À PAISAGEM COSTEIRA MARINHA	28
7. PERDAS E AMEAÇAS	33
8. CENÁRIOS CLIMÁTICOS E O FUTURO DOS MANGUEZAIS BRASILEIROS	38
9. POTENCIAL PARA RESTAURAÇÃO	42
10. MODELOS DE MERCADOS DE CARBONO E O CONTEXTO BRASILEIRO	48
11. POLÍTICAS PÚBLICAS	52
12. EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO	56
13. TEMAS E AÇÕES PRIORITÁRIAS	60
14. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	68



RESUMO EXECUTIVO



RESUMO
EXECUTIVO

RESUMO EXECUTIVO

O Brasil possui a segunda maior extensão de florestas de manguezais do planeta, com cerca de 1 milhão de hectares, em sua maioria (> 80%) localizados dentro de Unidades de Conservação. Apesar do relativo sucesso em sua preservação, manguezais brasileiros são perdidos por atividades humanas a taxas aproximadas de 0,1% ao ano (ca. 11 mil hectares por ano).

Na última década houve um grande avanço no conhecimento sobre a importância de manguezais brasileiros, evidenciando serviços naturais que beneficiam a vida das pessoas. Estes serviços incluem a provisão de recursos vivos sob a forma de alimento, a proteção costeira contra eventos climáticos e a sua capacidade de remover gás carbônico (CO₂) da atmosfera e armazená-lo por centenas a milhares de anos. As mais recentes evidências sugerem que manguezais do Brasil acumulam cerca de 4,5 milhões de toneladas de carbono por ano e são florestas que removem da ordem de 12 toneladas de CO₂eq por hectare, contribuindo positivamente para a redução das emissões de gases do efeito estufa do país.

Na agenda climática e em acordos internacionais, o Brasil já tem condições de incorporar manguezais em medidas de mitigação de maneira similar a melhores práticas sendo utilizadas no mundo. Essas informações permitem que mudanças no uso da terra em florestas de manguezais brasileiros possam ser incluídas no inventário nacional de emissões de gases do efeito estufa, além de direcionar políticas de mitigação para a zona costeira brasileira. Os avanços obtidos indicam também caminhos a percorrer para assegurar que não ocorram retrocessos na proteção de florestas de manguezais e dão suporte ao programa ProManguezal na proteção legal e na valoração dos manguezais para comunidades costeiras. Projetos de restauração de manguezais no Brasil são ainda incipientes, mas necessitam de avanços regulatórios para atrair investimentos e para garantir a liderança de comunidades tradicionais e a gestão participativa nos territórios. Esta síntese mostra que o Brasil possui grande oportunidade para obter recursos através da conservação e restauração de manguezais através da conservação dos manguezais, mas são necessários modelos regulatórios entre os setores público e privado para atrair investimentos internacionais.

1

INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

Manguezais são ecossistemas costeiros que ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, ocupando a faixa entremarés de estuários, deltas e baías costeiras. As florestas de mangue ocorrem em regiões inundadas e sujeitas às oscilações diárias das marés e às vazões dos rios. Por ocuparem terras baixas com ciclos frequentes de inundação, os manguezais são também classificados como ecossistemas de áreas úmidas (*wetlands*) (Junk et al., 2014). Ocupando a zona de transição (ecótono) entre continente e oceano, os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos do planeta e são reconhecidamente importantes no ciclo de matéria e nutrientes (Alongi, 2002). A alta produtividade primária resulta em grandes estoques de carbono orgânico na biomassa das árvores e no solo dos manguezais, muitas vezes maiores do que a de florestas continentais. O acúmulo de detritos e matéria orgânica, associado à proteção física das árvores e do solo, atrai grande abundância e diversidade de organismos marinhos e estuarinos, incluindo espécies pesqueiras que dependem do manguezal como parte do ciclo de vida.

O Brasil possui a segunda maior área de manguezal do planeta, com cerca de 1,1 milhão de hectares (11.414 km²), distribuídos ao longo de 23.110 km de costa (considerando todas as reentrâncias de estuários e baías), entre o Amapá e Santa Catarina (Bunting et al., 2022). Cerca de dois terços dessas florestas (mais de 750 mil hectares) se concentram na costa Amazônica, nos estados do Maranhão, Pará e Amapá. Considerando o avançado estado de degradação das florestas de manguezais no mundo nos últimos 50 anos, o Brasil possui relativo sucesso na conservação destes ecossistemas, com cerca de 80% de sua extensão localizada em alguma unidade de conservação (ICMBio, 2018). Aproximadamente 85% dos manguezais brasileiros permaneceram estáveis nos últimos 20 anos, mas cerca de 9% de sua área foi perdida pela ação humana principalmente pela carcinicultura, pela urbanização e pela conversão de pastagens (Diniz et al., 2019; Bernardino et al., 2024a). Esse cenário revela problemas de fiscalização e lacunas legais na sua proteção, pois manguezais continuam sendo removidos para a construção de rodovias, para a expansão de portos, instalação de cultivos de camarão, salineiras e desenvolvimento de pastagens, particularmente na transição para os ecossistemas continentais (Ferreira & Lacerda, 2016; Hatje et al., 2016; Lacerda et al., 2022).

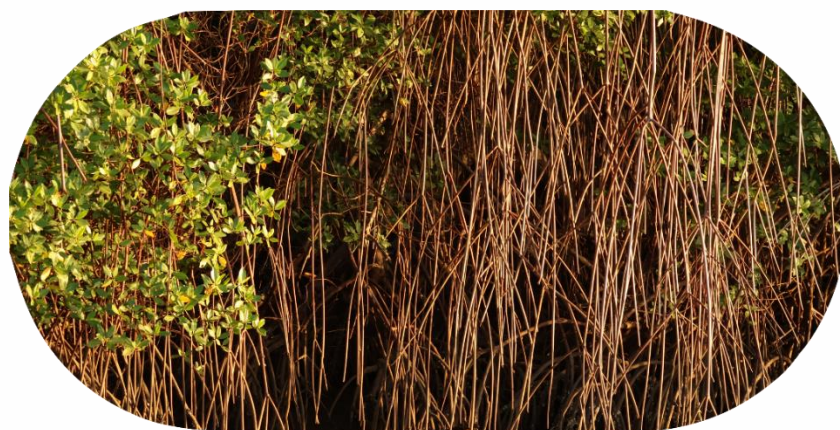


As florestas de mangue se expandem e retraem em resposta a ciclos naturais, incluindo acreção e erosão da linha de costa e dos efeitos da mudança do clima. Devido ao cenário atual, com o aumento do nível do mar e a intensificação de eventos meteo-oceanográficos extremos, florestas de manguezais assumem um papel ainda mais importante como barreiras físicas que protegem a linha de costa contra tempestades e da energia de ondas (Alongi, 2002). Com o avanço do mar, os manguezais sofrem retração na linha de costa, mas se expandem na direção do continente, desde que não sejam impedidos por barreiras humanas e naturais. A conservação e a restauração dos manguezais para a proteção da costa são fundamentais não apenas como medidas de adaptação das cidades costeiras brasileiras, mas também pelos benefícios que trazem às populações costeiras mais vulneráveis. A continuidade do fornecimento desses serviços depende diretamente da saúde das florestas e do estado de conservação dos ecossistemas do entorno.

Na última década, houve um notável avanço na sistematização do conhecimento e na valoração dos inúmeros benefícios diretos ou indiretos que os manguezais fornecem para populações costeiras (Barbier et al., 2010). Tais benefícios, conhecidos como serviços ecossistêmicos, incluem a provisão de recursos pesqueiros e medicinais, depuração da água, proteção costeira, regulação climática, além de práticas culturais e de turismo (Spalding & Parrett, 2019; Owuor et al., 2024). A importância dos manguezais para cidades e populações costeiras têm estimulado, em diversos países, metas de conservação e restauração com a participação de governos e das comunidades.

Os manguezais estão entre os maiores sumidouros de carbono do planeta, contribuindo com 10-15% do carbono soterrado em sedimentos costeiros (24 Tg C y^{-1}), exportando outros 10-11% para o oceano (Alongi, 2020). Isto significa que são altamente eficientes em aprisionar carbono nos solos por centenas a milhares de anos se não perturbados, contribuindo diretamente para a mitigação de mudanças do clima. Reconhecendo a importância desse benefício, o termo “carbono azul” foi adotado para ressaltar este importante papel dos manguezais junto a outros ecossistemas costeiros vegetados, como marismas e pradarias de gramas marinhas (Nellemann et al., 2009). Desde então, estudos sobre o carbono azul proliferaram rapidamente no mundo revelando a alta densidade de carbono orgânico predominantemente armazenado nos solos destes ecossistemas (Kauffman et al., 2020). No Brasil, florestas de manguezais acumulam

de duas a três vezes mais carbono orgânico no seu solo do que florestas tropicais terrestres da Amazônia ou da Mata Atlântica e até 10 vezes mais do que outros biomas como a Caatinga ou o Cerrado (Kauffman et al., 2018a; Rovai et al., 2022, Bernardino et al., 2024a). Porém, assim como observado em outras regiões do mundo, existe grande variabilidade espacial nos estoques de carbono nos solos dos manguezais brasileiros, existindo inúmeras lacunas espaciais e variabilidade metodológica nas estimativas (Hatje et al., 2021; Hatje et al., 2023; Bernardino et al., 2024a).



Se conservados, os manguezais aprisionam o carbono em seus solos por centenas a milhares de anos. Porém, a perda ou a degradação dos manguezais podem transformar esses sumidouros naturais de carbono em fontes de gases de efeito estufa (GEE). Os primeiros estudos no Brasil demonstraram emissões de mais de 1 tonelada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ por hectare de manguezais convertidos em fazendas de camarão ou pastagens no Nordeste e Norte do Brasil (Kauffman et al., 2018b; Bernardino et al., 2024a). Quando destruída ou degradada, a capacidade de sequestro dessas florestas é reduzida ou eliminada devido à perda da biomassa vegetal e dos solos. Desta maneira, impedir o desmatamento e a degradação do solo dos manguezais é fundamental para evitar o aumento das emissões de CO_2 para a atmosfera que, por sua vez, intensificam ainda mais o aquecimento global. Além disso, os manguezais são ecossistemas de carbono azul “acionáveis”, pois ações de gestão e restauração podem ser implementadas de forma eficaz. Além da conservação, a restauração dos manguezais tem o potencial de gerar sequestro adicional de carbono e/ou evitar emissões de gases de efeito estufa (Bourgeois et al., 2024).

Como signatário do acordo de Paris, que busca evitar o aquecimento do planeta a níveis acima de 2°C , o Brasil possui metas climáticas claras

que envolvem os setores da agricultura e de uso da terra. No seu plano de ação, o país prevê zerar o desmatamento a fim de diminuir as emissões de GEE associadas à perda de florestas naturais terrestres dos Biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Pampas e da Mata Atlântica. Portanto, evitar futuras perdas e compensar as perdas passadas é estratégico para auxiliar o Brasil a atingir suas metas de redução de emissões (Contribuições Nacionais Determinadas, NDC) dentro dos acordos climáticos internacionais (Copertino, 2011, Bernardino et al., 2024a). Porém, florestas de manguezais ainda não foram incluídas nas metas brasileiras para reduções de emissões. Projetos de carbono azul possuem, portanto, o potencial de promover co-benefícios ambientais e sociais, enquanto se busca atingir as metas de mitigação climática.

Os benefícios providos pelos manguezais, particularmente de sequestro de carbono e de proteção costeira, têm colocado estes ecossistemas no centro das chamadas **soluções baseadas na natureza (SbN)**¹, visando um futuro mais resiliente para o ambiente e para a sociedade (IUCN, 2020). Entretanto, o enorme potencial dos manguezais como SbN necessita de bases ecológicas sólidas, interdisciplinaridade e inclusão de povos tradicionais na produção de conhecimentos (Lovelock et al., 2023).

Para informar e auxiliar o poder público, gestores e sociedade brasileira, o Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas – SIMACLIM (<https://simaclim.com.br/>) criou o grupo de trabalho sobre manguezais, objetivando discutir e sintetizar conhecimentos atuais destes ecossistemas, particularmente no contexto das mudanças climáticas. Este relatório sintetiza este conhecimento, oferecendo bases científicas sólidas para que os gestores possam implementar ações eficazes na adaptação climática e na conservação ambiental. O documento destaca a importância dos manguezais brasileiros para o ambiente e para a sociedade, informando como estes ecossistemas podem contribuir no enfrentamento da emergência climática e para o alcance de metas nacionais de redução de emissões de GEE. Ressaltam-se, ainda, mecanismos para garantir sua conservação, o modo de vida, a segurança alimentar e a resiliência climática das populações costeiras.

¹ Soluções Baseadas na Natureza (SbN) são iniciativas que ajudam a proteger, manejar e restaurar os ambientes naturais, ao mesmo tempo que fornecem e mantêm os benefícios para as pessoas (IUCN, 2020).

2

MANGUEZAIS DO BRASIL

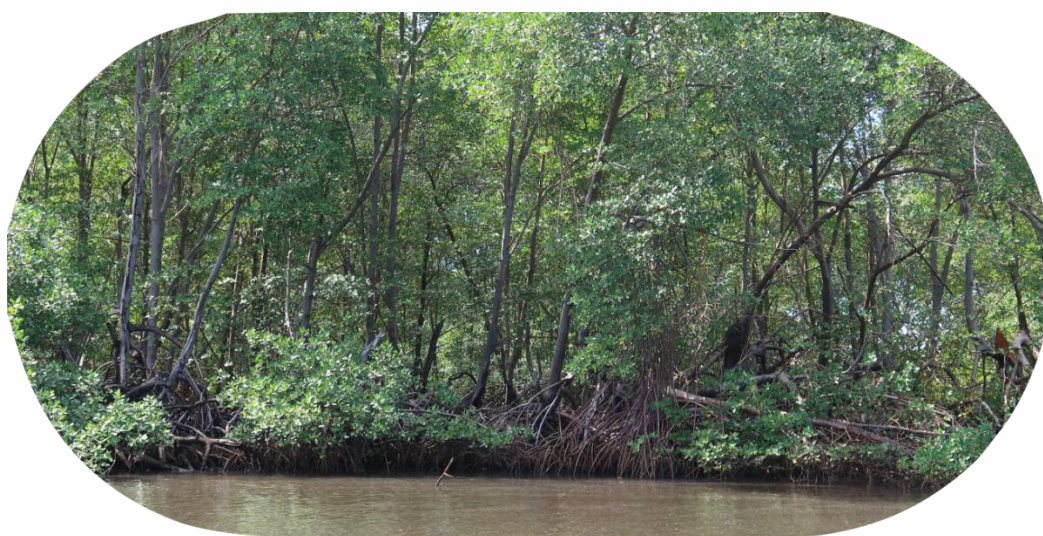


MANGUEZAIS
DO BRASIL

2. MANGUEZAIS DO BRASIL

Os manguezais brasileiros estão distribuídos desde o Cabo Orange (Amapá, 4° 26' N) até o município de Laguna (Santa Catarina; 28°30'S), abrangendo uma grande diversidade de condições climáticas (precipitação e temperatura), oceanográficas, geológicas e geomorfológicas (Schaeffer-Novelli et al., 1990; Lacerda et al., 2022). Os manguezais brasileiros podem ser do tipo deltaicos, estuarinos, lagunares, de costa aberta e carbonático (Lana & Bernardino, 2018).

Isto resulta em variações na estrutura e dinâmica da floresta e nas características de seus solos ao longo da costa brasileira (Schaeffer-Novelli et al., 1990). Diferentes condições oceanográficas, geológicas e climáticas influenciam a distribuição espacial, a estrutura da floresta, a quantidade de biomassa vegetal bem como as características dos solos dos manguezais (Bernardino et al., 2022; Ferreira et al., 2022).



Devido à alta variabilidade das características na zona litorânea, a costa brasileira pode ser dividida em cinco compartimentos (ICMBio, 2018). O Litoral Equatorial Amazônico (ou Costa Norte Quaternária) se distribui do Cabo Orange (AP) até os Lençóis Maranhenses (MA), com características climáticas marcadas pelo excedente pluviométrico, com clima do tipo tropical úmido, com médias de precipitação entre 1.200 e 2.800 mm/ano e temperatura variando entre 24 e 27°C.

Neste segmento, submetido a um regime de macromarés (amplitudes diárias entre 4 e 8 metros) são encontradas as maiores árvores de manguezais do país, colonizadas por espécies vegetais que podem alcançar 30 m de altura, e influenciado pelo encontro de grandes rios

(Oiapoque, Caciporé e Amazonas) com o oceano Atlântico Tropical. Nele, os manguezais se apresentam, muitas vezes, sob baixa salinidade (entre 0 e 7), principalmente na porção oeste do Rio Amazonas, onde ocorre uma mistura de manguezais com vegetação de várzea (Bernardino et al., 2022).

Nas porções mais salobras (salinidades entre 5-18) a leste da Foz do Rio Amazonas, os manguezais são dominados por espécies como *Rhizophora mangle*, *Avicennia* spp. e *Laguncularia racemosa* e se trata do segmento da costa brasileira com maior estoque de carbono na biomassa aérea (Kauffman et al., 2018a).

O Litoral do Nordeste ou Costa Nordeste Semiárida se estende desde o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (MA) até a divisa do Rio Grande do Norte com a Paraíba. Caracteriza-se por uma região com alta energia das ondas, um regime de mesomaré (variação diária entre 2 e 4 m) e clima semiárido, com média anual de precipitação inferior a 800 mm concentrada em 3-4 meses. Essa porção da costa é caracterizada por solos com salinidades entre 28 e 53 e florestas com biomassa vegetal relativamente menor. No entanto, os estoques de carbono no solo são comparáveis àqueles estimados para a costa da Amazônia mas são potencialmente sensíveis à carcinicultura e mudanças do clima (Kauffman et al., 2018a; 2018b; Nóbrega et al., 2019; Lacerda et al., 2024).

A costa Leste do Brasil se estende da Paraíba até a Baía de Guanabara (RJ), sob influência da micromarés em um clima úmido, com precipitação média anual de aproximadamente 1.800 mm/ano, com trechos de precipitação inferior a 700 mm e outros de precipitação superior a 2.400 mm. Este setor da costa apresenta florestas de mangue se desenvolvendo em regiões estuarinas e baías protegidas das ações diretas do mar, mas por vezes com intensa urbanização. Os solos dos manguezais também possuem alta contribuição (>70%) para os estoques de carbono (Bernardino et al., 2020, Gomes et al., 2021a; Hatje et al., 2021).

Por sua vez, a Costa Granítica Sul do Brasil se estende desde a Baía de Guanabara (RJ) até a Praia do Sonho (SC). Esta região é marcada por um clima tropical úmido, com precipitações anuais entre 1.000 e 1.500 mm e pela proximidade com a Serra do Mar, criando um litoral repleto de baías protegidas que abrigam extensas florestas de mangues. Os solos das escarpas deste maciço cristalino, cobertos pela Mata



Atlântica, contribuem significativamente para o aumento dos aportes de ferro (Fe) nos solos de manguezais e elevados teores de carbono orgânico (Ferreira et al., 2022).

Esta zona abriga áreas importantes de manguezais lagunares e estuarinos no limite entre as zonas tropical e subtropical, como os da região Cananéia-Iguape (SP) e Baías de Guaraqueçaba e Guaratuba (PR), com alta sensibilidade às mudanças climáticas. Embora de menor porte arbóreo, estes manguezais representam importantes estoques de carbono no solo (Rovai et al., 2021).

No limite sul dos manguezais brasileiros em Santa Catarina, sob a planície quaternária e arenosa, as florestas se encontram no interior dos pequenos estuários e das lagunas, apresentam uma menor biomassa aérea provavelmente devido ao stress térmico nos períodos de inverno, além da menor disponibilidade de luz (Schaeffer-Novelli et al., 2016; Pagliosa et al., 2024). Por outro lado, apesar da baixa altura, p.ex. não excede os 4 m em Laguna (SC), a densidade e a ramificação das árvores é maior no limite de distribuição do manguezal, assim como a proporção do carbono estocado na parte aérea (Pagliosa et al., 2024).

3

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS: BENEFÍCIOS DOS MANGUEZAIS PARA A SOCIEDADE

SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS:
BENEFÍCIOS DOS
MANGUEZAIS PARA
A SOCIEDADE

3. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS: BENEFÍCIOS DOS MANGUEZAIS PARA A SOCIEDADE.

Serviços ecossistêmicos (Ses) são os benefícios e contribuições da natureza para as pessoas, fornecidas de forma direta ou indiretamente (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Estes benefícios derivam da própria biodiversidade, da paisagem, das funções ecológicas e da interação entre os processos físicos e biológicos (Figura 1).

A *Common International Classification for Ecosystem Services – CICES* identifica 62 serviços ecossistêmicos nos manguezais, classificados como de “provisão”, “regulação”, “manutenção e cultural” (Czúcz et al., 2018). Mais recentemente, mais de 300 serviços ecossistêmicos foram identificados em manguezais de diversas regiões costeiras (Binhat et al., 2022). A quantidade, tipos e importância dos Ses variam regionalmente, assim como o valor que as populações humanas atribuem aos manguezais.

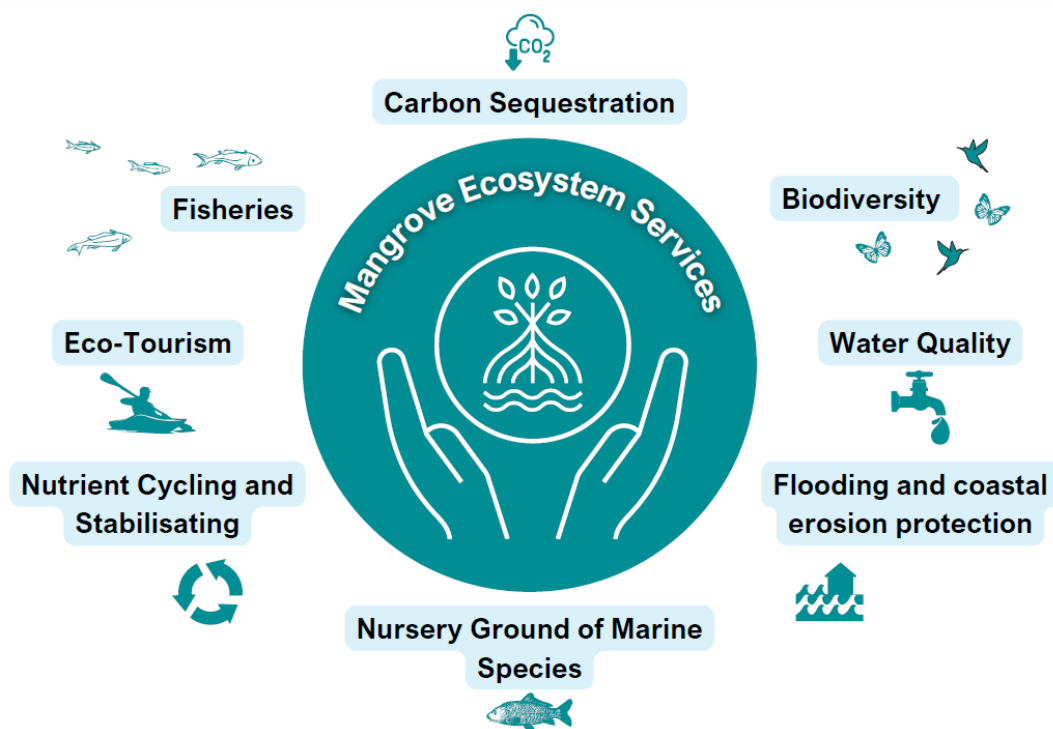


Figura 1. Serviços ecossistêmicos providos por manguezais.

No Brasil, foram mapeados múltiplos benefícios de manguezais para populações costeiras da costa Amazônica, que podem ser diretamente relacionados ao bem-estar humano e à economia informal (Ouwor et al., 2024). Populações tradicionais da costa Amazônica se beneficiam

diretamente da provisão de alimento dos manguezais através da captura de espécies de valor comercial e identificam essas florestas como importantes para a regulação climática e para a qualidade da água que utilizam.

A provisão de recursos pesqueiros é fundamental para populações tradicionais que vivem próximas às áreas de conservação (Glaser, 2003; Prates, 2012, Gasparinetti et al., 2018; Owuor et al., 2024). Por exemplo, o Brasil possui cerca de 278 mil pescadores artesanais que realizam suas atividades em manguezais ou em suas proximidades, destacando este ecossistema como importante gerador de renda e emprego para inúmeras pessoas (Zu Ermgassen et al., 2021). Peixes, caranguejos, ostras e mariscos são subsistência e fonte de renda dessas populações, beneficiando indiretamente os consumidores de áreas urbanas. Essas populações também percebem que manguezais atraem espécies aquáticas e terrestres e frequentemente utilizam essas florestas para atividades educativas, religiosas e culturais.



Os manguezais desempenham um papel fundamental na adaptação às mudanças climáticas e na redução do risco de desastres em zonas costeiras, oferecendo proteção contra tempestades, reterdo excesso de sedimentos e nutrientes e no sequestro de carbono (serviço de regulação).

De acordo com a *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), florestas de mangue protegem globalmente cerca de 120 milhões de pessoas que vivem nas proximidades desse ecossistema, oferecendo pelo menos cinco vezes mais eficiência e melhor custo-

benefício de proteção da costa do que estruturas construídas, como muros de contenção, espigões e quebra-mares (Slobodian et al., 2018).

No Brasil, manguezais fixam até quatro vezes mais CO₂ e estocam até dez vezes mais carbono do que outros ecossistemas florestais e não florestais terrestres, presentes nos diversos biomas brasileiros (Kauffman et al., 2018a; Rovai et al., 2022; Bernardino et al., 2024a).

Além dos estoques associados às florestas de mangue, os fluxos laterais de carbono dos estuários para o oceano, sobretudo na forma de bicarbonato (fração inorgânica dissolvida), são altamente significativos (Cabral et al., 2021). Essas transferências de carbono reforçam a importância de manguezais em mitigar a emissão de gases-estufa em áreas marinhas adjacentes à zona costeira, apesar desses créditos ainda não serem acionáveis em mercados voluntários (Cabral et al., 2024).

Outros serviços dos manguezais brasileiros incluem a remoção de poluentes e a imobilização de contaminantes pelo solo (Ferreira et al., 2024). No estuário do Rio Amazonas, manguezais capturam por ano cerca de 0,5 tonelada de microplásticos presentes na água e beneficiam diretamente populações tradicionais que utilizam água não tratada de rios próximos para seu consumo (Rico et al., 2024).

A percepção das comunidades é muito útil para identificar e qualificar a importância dos serviços de modo a guiar ações de conservação. Por exemplo, um estudo no entorno de uma Reserva Extrativista (RESEX) do Pará evidenciou que, de acordo com 90% dos moradores, existe um alto fluxo de serviços da pesca, valores intergeracionais, valor intrínseco, viveiro e criadouro, regulação climática, conservação da biodiversidade e proteção contra tempestades (Owuor et al., 2024).

A percepção sobre a importância destes serviços é muito influenciada por características sociodemográficas das comunidades tais como a educação, a forma de vida, a fonte de renda (pesca ou outras atividades) e o conhecimento prévio sobre os benefícios e serviços ecossistêmicos. Em linhas gerais, o arcabouço de proteção e a existência de unidades de conservação em grande parte das áreas onde se situam os manguezais brasileiros reforçam sua importância para comunidades costeiras.

Muitas destas comunidades reconhecem que as áreas de manguezal são fundamentais para a provisão dos muitos serviços que os beneficiam diretamente (p. ex., Owuor et al., 2024). Existe uma clara lacuna de conhecimento sobre o valor ecossistêmico de manguezais brasileiros, uma vez que os dados disponíveis são baseados em alguns poucos estudos de caso e geograficamente restritos, vis-à-vis a extensão dos manguezais brasileiros. Estes estudos são de suma importância para reforçar a gestão e o manejo dessas áreas com a liderança dos povos tradicionais e para aprimorar a percepção de outros setores da sociedade sobre a nossa dependência em relação aos manguezais e aos serviços ecossistêmicos prestados por eles (Tabela 1).

Tabela 1. Fluxo de serviços ecossistêmicos provindos de manguezais na opinião dos moradores do entorno de Reserva Extrativista (PA). Adaptada de (Owor et al., 2024).

Serviços ecossistêmicos de manguezais	Alta importância (%)	Média importância (%)	Baixa importância (%)
Pescaria	95	4	1
Embarcações de pesca	8	6	86
Aparato de pesca	40	10	50
Maricultura	64	6	30
Fitoterapia	27	16	57
Lenha	18	6	76
Carvão	8	6	86
Madeira	8	9	83
Alimentação animal	1	2	97
Caça	2	3	95
Meliponicultura	7	7	86
Arte e ornamentações	18	9	73
Recreação e turismo	69	12	19
Valor ancestral	91	4	5
Valores intrínsecos	93	3	4
Berçário e áreas de reprodução	94	2	4
Controle de alagamento	76	9	15
Purificação de água	73	8	19
Controle de sedimentação	70	14	16
Regulação do clima	89	6	5
Conservação da biodiversidade	96	3	1
Proteção contra tempestades	87	5	8
Proteção contra erosão costeira	80	8	12

4

CONDIÇÕES GEOCLIMÁTICAS, TIPOLOGIAS COSTEIRAS E ESTOQUES DE CARBONO



4. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS, TIPOLOGIAS COSTEIRAS E ESTOQUES DE CARBONO.

A diversidade dos ambientes costeiros nos quais se inserem os manguezais brasileiros varia quanto às características geológicas, climáticas, regimes hidrológicos, amplitudes de marés, aportes fluviais de sedimentos e nutrientes (Ferreira et al., 2022; Beloto et al., 2023; Ruiz et al., 2024). A energia e a amplitude das marés afetam a frequência e a duração de inundações que, junto com a energia de ondas, possibilita condições geomorfológicas distintas (Woodroffe et al., 2016).

A contribuição dessas forçantes ambientais dá origem a tipologias costeiras diversas como deltas (dominados por rios), estuários (dominados por marés), lagunas costeiras (dominados pela energia das ondas e ventos) e substratos de origem carbonática (i.e., recifes de alga calcária *Halimeda* spp) e que em algumas regiões influenciam a capacidade destas florestas em sequestrar e estocar carbono ao longo do tempo (Breithaupt & Steinmuller, 2022).



Dados recentes ainda mostram a influência geoquímica dos solos na capacidade de estabilização do material orgânico em solos de manguezais. Estes estudos sugerem que a saúde do solo é um importante parâmetro para determinar o potencial dos manguezais como sumidouros de carbono e indicam que mudanças no uso da terra alteram drasticamente sua capacidade futura de armazenamento (Ruiz et al., 2024). Essas informações possuem amplas implicações para a escolha de áreas de replantio e restauração de manguezais, uma vez

que nesses projetos é comumente desejável a captura adicional de carbono.

Tipologias costeiras dominadas por grandes rios (p. ex., Amazonas, São Francisco, Caravelas) recebem consideráveis aportes de sedimentos carregando minerais, matéria orgânica e nutrientes provenientes dos solos a montante na bacia hidrográfica. Grandes volumes de sedimentos contribuem com altas taxas anuais de sedimentação e de acúmulo de carbono orgânico nos solos dos manguezais.

No entanto, o grande volume de sedimentos inorgânicos pode ter um efeito ‘diluidor’ sobre a matéria orgânica, resultando em estoques de carbono orgânico no solo relativamente baixos (Passos et al., 2024). O aporte de nutrientes, junto com luz e temperatura, regula a produtividade primária em manguezais, consequentemente influenciando na partição de recursos entre biomassa aérea (troncos, galhos, folhas, flores, frutos, propágulos) e subterrânea (raízes).

Em ambientes dominados por grandes rios, as árvores típicas de mangue alocam mais recursos na produção de biomassa aérea, do que na produção de raízes, reduzindo o aporte de matéria orgânica para os solos.

Desta forma, manguezais brasileiros dominados por tipologias costeiras deltaicas apresentam maiores estoques de carbono orgânico na biomassa aérea quando comparados ao solo (Rovai et al., 2018; 2021; 2022; Kauffman et al., 2018; Bernardino et al., 2024). Em contrapartida, manguezais situados em tipologias costeiras dominadas por marés e/ou ondas, como estuários e lagunas costeiras com menor influência fluvial apresentam estoques de carbono maiores nos solos em relação a biomassa aérea (Kauffman et al., 2018; Gomes et al., 2021a; Rovai et al., 2021; Hatje et al., 2023). Assim, a tipologia das florestas de mangue, junto com as características geoclimáticas e mineralogia dos solos, desempenham um papel importante no controle do potencial de sequestro de carbono pelos manguezais.

Embora ainda existam muitas lacunas na costa brasileira onde os estoques de florestas de manguezais seguem indeterminados, os dados existentes permitem estimar taxas médias de acúmulo e estoques de carbono tanto na biomassa aérea quanto no solo de manguezais. Anualmente, 2,44 (95% intervalo de confiança da mediana:

1,64 a 3,71) e 2,14 (95% intervalo de confiança da mediana: 1,47 a 2,59) TgC/ano de carbono são acumuladas na biomassa aérea e nos solos de manguezais brasileiros representando, respectivamente, 10 e 13,5% dos totais globais (Rovai et al., 2022). Em relação ao carbono armazenado na biomassa aérea e nos solos (entre 0-100 cm de profundidade), os estoques estimados são, respectivamente, 50-100 e 207-215 TgC, equivalente a 7 - 8% dos estoques globais (Rovai et al., 2022; Hatje et al., 2023). Estes valores podem ser ainda maiores caso fossem adicionados dados sobre estoques de carbono na biomassa viva subterrânea (rizóforos e raízes), os quais são escassos na literatura e muito variáveis entre tipologias costeiras e latitudes.

Cabe ressaltar que enquanto taxas de acúmulo e valores de estoques de carbono na biomassa e solos são importantes para quantificar fatores de emissão, em caso de conversão de áreas de manguezal para outros usos, o balanço líquido dos fluxos de carbono (ou seja, descontando-se respiração ecossistêmica e exportação) devem ser utilizados para fins de se estimar o potencial de mitigação dos manguezais em relação às emissões de gases do efeito estufa oriundos da queima de combustíveis fósseis.

Um estudo na costa Amazônica procurou determinar esse balanço líquido, indicando que manguezais da costa Amazônica tem um balanço climático positivo de 12.2 ± 1.4 Mg CO₂eq por hectare por ano (Bernardino et al., 2024b). Isso indica que se mantidos em pé, florestas de manguezais removem mais CO₂ da atmosfera do que emitem em gases estufa, evidenciando seu benefício para a adaptação climática do país.



5

FONTES E SUMIDOUROS DE GASES ESTUFA

FONTES E
SUMIDOUROS
DE GASES ESTUFA

5. FONTES E SUMIDOUROS DE GASES ESTUFA.

Florestas de manguezais conservadas geralmente são sumidouros de gases de efeito estufa, atuando na remoção líquida de CO_2 atmosférico. Porém, sob determinadas condições, as emissões naturais de GEE destas florestas, particularmente o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), podem compensar as remoções de CO_2 , reduzindo o benefício de mitigação climática (chamado de *offset*). Esses gases são emitidos através da interface solo-atmosfera, água-atmosfera e pelas emissões diretas da vegetação para a atmosfera.

Globalmente, estima-se que as emissões totais de CH_4 (fluxo médio de $6,53 \text{ Tg CO}_{2e} \text{ ano}^{-1}$) reduzem de 15 a 20% a capacidade de sequestro de carbono em manguezais (Rosentreter et al., 2018; Cotovicz et al., 2024), que totaliza aproximadamente $4 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$. Esses fluxos de metano são estimulados pela presença de água doce, de modo que nos manguezais que apresentam maiores salinidade (salinidade > 30), o *offset* médio seria de apenas 7% (emissão de CH_4 de $\sim 1 \text{ Tg CO}_{2e} \text{ ano}^{-1}$ e o sequestro de carbono orgânico de $\sim 4 \text{ Tg CO}_2 \text{ ano}^{-1}$) (Figura 2).

Adicionalmente, solos eutrofizados (p.ex., enriquecidos com matéria orgânica e nutrientes de despejos de esgotos e carcinicultura) tendem a liberar metano para a atmosfera (Nóbrega et al., 2016), reduzindo o benefício climático geral de manguezais. Neste sentido, manter os manguezais brasileiros preservados e sem influência de despejos orgânicos antrópicos é fundamental para a manutenção dos benefícios climáticos que oferecem.

No Brasil, estudos recentes investigaram a relação entre a emissão de gases de efeito estufa e a capacidade de sequestro de carbono orgânico em solos de manguezais. Em manguezais tropicais do Rio de Janeiro e subtropicais de Santa Catarina foram observadas baixas concentrações e emissões de CH_4 com *offsets* de emissões inferiores a 3% (Yau et al., 2024).

Porém, em manguezais amazônicos influenciados por grandes aportes fluviais, as emissões de CH_4 de solos com baixa salinidade (salinidade 0,5 – 5,0) apresentaram um *offset* médio de 44%, enquanto nas florestas salobras (salinidade 5,0 – 18,0) este percentual caiu para 11% (Bernardino et al., 2024b). Esses dados corroboram outros estudos globais e indicam que manguezais salinos são ecossistemas chave no contexto das mudanças climáticas uma vez que aliam a alta capacidade

de sequestro de CO₂ a baixas emissões CH₄ (Bernardino et al., 2024b; Cotovicz et al., 2024).

Além do metano, cabe destacar o papel do óxido nitroso (N₂O), uma vez que este é outro potente gás do efeito estufa (Maher et al., 2016). Assim como os demais GEE, os fluxos de N₂O em manguezais são controlados por diversos fatores como bioturbação (p. ex., atividade de caranguejos no solo), salinidade, condições climáticas e aporte de nitrogênio (Otero et al., 2020).

Os manguezais conservados e salinos podem atuar como sumidouro de N₂O resultando em um maior benefício climático (Cotovicz et al. 2024). Entretanto, os manguezais que recebem elevado aporte de efluentes nitrogenados, como os localizados próximos a empreendimentos de carcinicultura, tendem aumentar em até 125% os fluxos de N₂O para a atmosfera, prejudicando e reduzindo sua função de remoção de GEE (Queiroz et al., 2019).

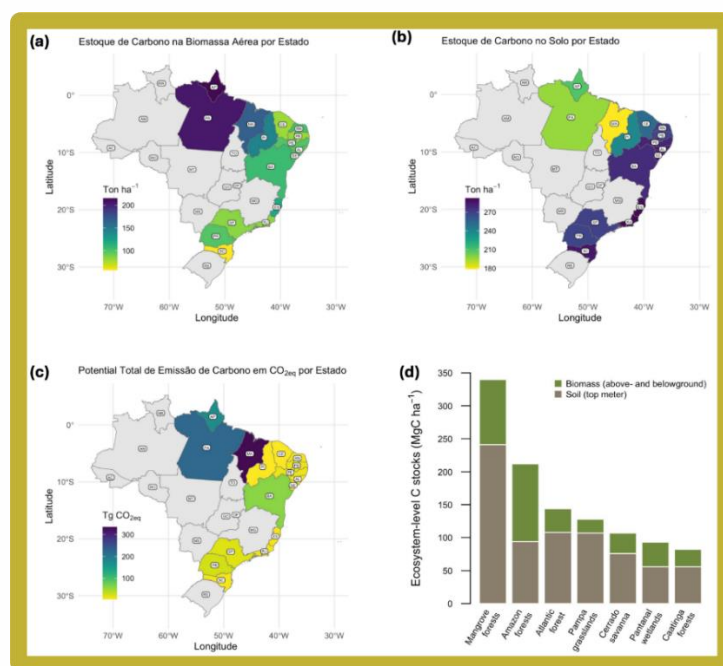


Figura 2. Estimativas medianas para estoques de carbono (a) na biomassa aérea e (b) solos de manguezais brasileiros por Estado. (c) O potencial total de emissão de CO₂eq por Estado representa a somatória dos estoques de carbono na biomassa total (aérea e subterrânea) e solos. (d) Comparativamente, manguezais brasileiros estocam entre 2 e 4 vezes mais carbono no solo por unidade de área (i.e., por hectare) do que outros biomas terrestres, e ficam em segundo lugar em termos de biomassa aérea somente para a floresta amazônica. Mapas (a-c) produzidos a partir de estimativas geradas por Rovai et al. (2018) e Rovai et al. (2021). Cabe destacar que, as cores dos Estados representam estoques de carbono que ocorrem somente nas áreas manguezais, as quais são difíceis de visualizar nesta escala e, portanto, coloriu-se o estado inteiro para facilitar a visualização. Em (c), a biomassa subterrânea foi estimada usando fator de conversão de 0,5 em relação a biomassa aérea. (d) Modificado de Rovai et al. (2022).

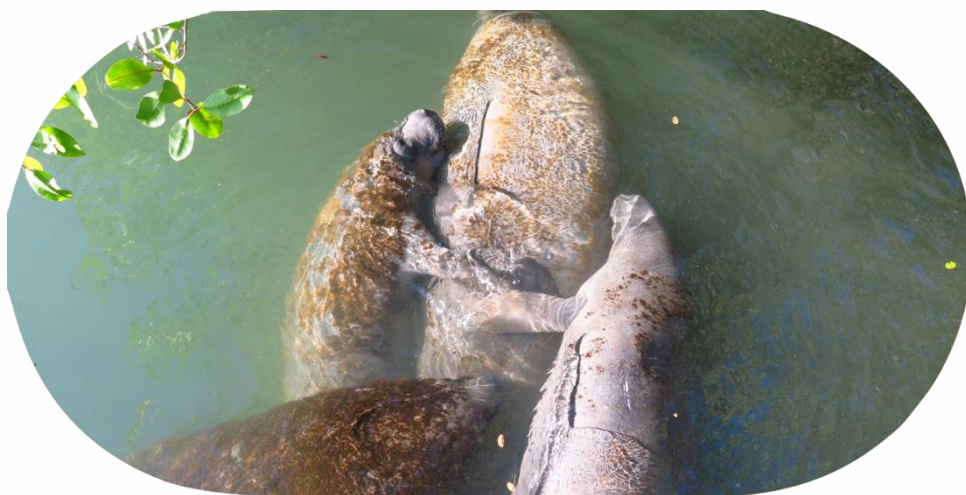
6

MANGUEZAIS CONECTADOS À PAISAGEM COSTEIRA MARINHA



6. MANGUEZAIS CONECTADOS A PAISAGEM COSTEIRA MARINHA.

A conectividade é um componente intrínseco e fundamental a todos os ecossistemas, influenciando a dispersão e a diversidade das espécies e garantindo a manutenção das funções ecológicas e dos serviços ecossistêmicos (Lindemeyer et al., 2008). A distância entre as florestas e as correntes oceânicas atuam na dispersão de propágulos das árvores e na diversidade genética das espécies do mangue (Sanches, 2019; Madeira et al., 2022). Além disso, as florestas de manguezais estão conectadas com os ecossistemas terrestres (p. ex., restingas e florestas da Mata Atlântica, campos e florestas alagadas da Amazônia, bacias hidrográficas) e marinhos (p. ex., marismas, gramas marinhas e recifes de corais costeiros) através de fluxos hidrológicos que carregam organismos e nutrientes entre e dentro desses ecossistemas (Howard et al., 2017).



Muitas paisagens costeiras-marinhas tropicais e subtropicais são caracterizadas pela proximidade dos manguezais com marismas, pradarias de gramas marinhas, bancos de macroalgas e recifes de corais, formando um mosaico de ecossistemas (Ogden, 1997, Unsworth et al., 2008, Lowe & Falter, 2015). Estas paisagens estão dentro dos repositórios mais ricos de biodiversidade marinha, fornecendo serviços vitais à sobrevivência e bem-estar das populações humanas (Nagelkerke et al., 2000, Moberg & Roenback, 2003). No Nordeste do Brasil, pradarias de gramas marinhas e bancos de macroalgas se desenvolvem entre a barreira recifal e os manguezais na costa (Copertino et al., 2016), permitindo o trânsito de peixes de valor comercial entre estas áreas (Aschenbrenner et al., 2016, Silva et al., 2022). Muitos dos bens e serviços ecossistêmicos identificados

para os manguezais são compartilhados com as pradarias de gramas marinhas (Creed et al., 2023) (Figura 3).

A estrutura física, os recursos alimentares e o sombreamento propiciados pela associação manguezal-pradarias beneficia as fases juvenis dos peixes, mantendo a alta densidade destes animais que retornam ao recife na fase adulta (Nagelkerken et al., 2002, Nakamura & Sano, 2004, Silva et al., 2021). Diversas populações de peixes tropicais usam a paisagem com migrações cíclicas em diferentes escalas de tempo entre os manguezais e outros habitats (Reis-Filho et al., 2016; Souto-Vieira, 2023).



Figura 3. Pradarias de gramas marinhas, expostas na maré baixa, adjacentes à floresta de manguezal. Estuário do Rio Macapá, Piauí. @Margareth Copertino.

A relação entre os manguezais e a bacia do Rio Amazonas é um exemplo da importância da manutenção da interconectividade. Uma grande parte da pesca comercial da Bacia do Rio Amazonas é concentrada em espécies de peixes que realizam extensas migrações entre a região estuarina e a cabeceira dos rios (Duponchelle et al., 2021). Nesse sentido, ações que garantam o fluxo de água e a manutenção da saúde de florestas de várzea e de mangues e outras áreas úmidas costeiras, são fundamentais para garantir os estoques e a pesca na Bacia do Rio Amazonas e possivelmente em muitas outras áreas estuarinas e baías costeiras brasileiras.

Os manguezais estão em constante troca com o oceano através das marés, das ondas e das correntes que ocorrem em várias escalas temporais (Santos et al., 2021). Essa troca promove a exportação de matéria orgânica e nutrientes para a zona costeira, influenciando as cadeias alimentares e amplificando a abundância animal (Dittmar et al., 2006; Taillardat et al., 2019; Santos et al., 2021). Tais resultados corroboram uma hipótese antiga (Odum, 1980), segundo a qual os ecossistemas costeiros vegetados sustentam uma parcela significativa da produção primária dos estuários e da plataforma continental.

A fragmentação das paisagens reduz a proximidade e o grau de interconectividade, com consequências negativas para a biodiversidade do manguezal e dos habitats adjacentes, resultando em perda de funções ecológicas e serviços associados, além de reduzir a resiliência dos manguezais aos impactos das mudanças do clima (Skilleter et al., 2017). Isso posto, a proteção integral dos mosaicos de paisagens é crucial para sustentar a alta produtividade das pescarias e o modo de vida das populações costeiras (Silva et al., 2022), bem como para manter os estoques de carbono e a proteção costeira (Figura 4).

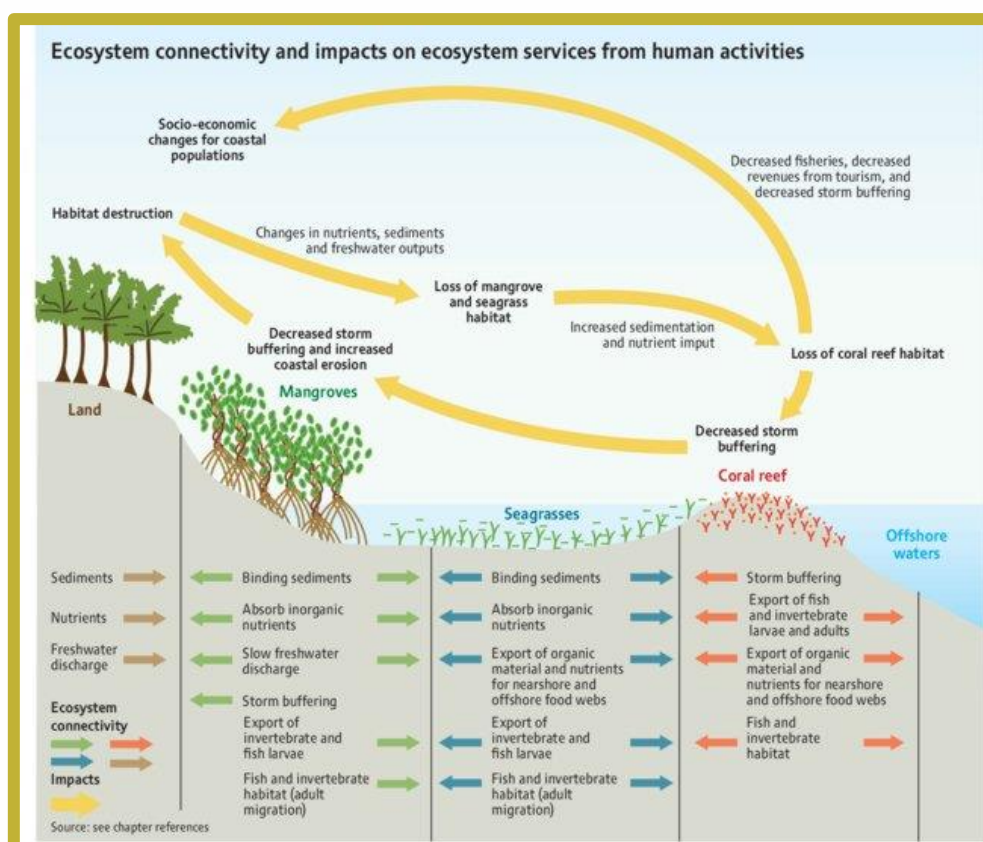


Figura 4. Conectividade entre manguezais, pradarias e recifes de corais, mostrando as funções de cada habitat. As relações de interconectividade são

indicadas por setas: continente (seta marrom), manguezal (seta verde), pradarias (seta azul) e recife de coral (seta vermelha). Na parte superior da figura são indicados impactos humanos que retroalimentam efeitos negativos sobre serviços ecossistêmicos (setas amarelas). Fonte: Silvestri & Kershaw (2010).

A Figura 5 traz também o exemplo do ciclo de vida do peixe cinzento que usa os 3 habitats (mangue, pradaria e recife de coral).

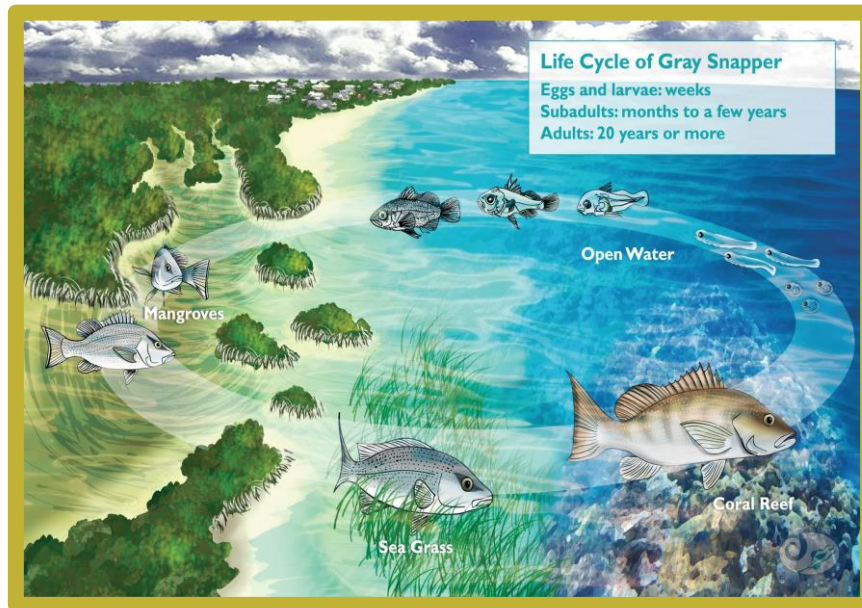


Figura 5. Exemplos de ciclo de vida do peixe cinzento, que usa os 3 habitats (mangue, pradaria e recife de coral).

7

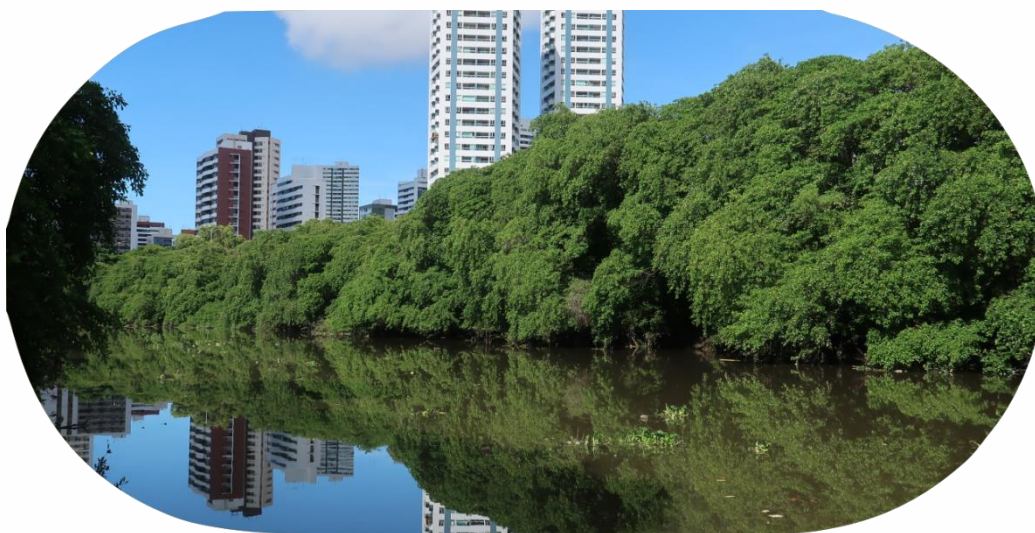
PERDAS E AMEAÇAS



PERDAS
E AMEAÇAS

7. PERDAS E AMEAÇAS

No Brasil as florestas de manguezais continuam ameaçadas por causas antropogênicas diversas. As avaliações mais recentes do projeto MapBiomass (2022) mostram uma perda líquida de aproximadamente 11 mil hectares (2% da área total) de florestas de manguezais entre 2000 e 2021, equivalente a uma taxa de 0,13% ao ano (Copertino et al., 2024). As principais causas recentes das perdas antropogênicas incluem a supressão da vegetação para pasto (cerca de 4% da área convertida), mas a carcinicultura costeira, eventos climáticos extremos, a salinicultura e a expansão urbana ainda constituem fontes históricas de perda de mangues (Gomes et al., 2021a; Vanin et al., 2024).



Na região Amazônica, cerca de 750 (0,1% da área total) de manguezais são perdidos anualmente através da conversão para pastos e campos, potencialmente liberando cerca de 1 milhão de toneladas de CO₂eq na atmosfera (Bernardino et al., 2024a, Tabela 2). Outro problema grave para a conservação dos manguezais foi a revisão do código florestal em 2012 que flexibilizou o uso das regiões de salgado para a carcinicultura. Essa medida não só intensificou a perda de extensa área de manguezais (p. ex. apicum), mas também reduziu a área disponível para restauração e migração natural da floresta em direção ao continente em provável cenário de aumento do Nível Relativo Médio do Mar (NRM) (Pagliosa et al., 2012).

A carcinicultura no Brasil é historicamente responsável pela perda de consideráveis áreas de manguezais, principalmente na região semi-árida do Nordeste onde os manguezais ocupam estuários efêmeros e impactados por secas severas (Lacerda et al., 2021). A conversão de

manguezais para tanques de carcinicultura resulta em uma emissão média de 1,4 Mg CO₂eq ha⁻¹, representando uma perda de 52 a 80% dos estoques de C, retroalimentando o aquecimento global (Kauffman et al., 2018b, Tabela 2).

Essas emissões ocorrem devido à oxidação da fração mais lábil (facilmente degradada) da matéria orgânica que perde a proteção físico-química pela alteração biogeoquímica dos solos (Santos-Andrade et al., 2021; Ruiz et al., 2024). Além da mudança de uso da terra e da perda do carbono acumulado, o descarte de efluentes da carcinicultura nas regiões adjacentes acelera a decomposição da matéria orgânica e a perda dos estoques de carbono (Suarez-Abelenda et al., 2014; Nóbrega et al., 2019). O descarte de efluentes de carcinicultura aumentam os conteúdos de fósforo e nitrogênio nos solos, causando eutrofização, o que reduz ainda mais a capacidade líquida de sequestro de carbono e a resiliência da vegetação a mudanças climáticas (Nóbrega et al., 2014; Barcellos et al., 2019).

Tabela 2. Taxas de emissão florestal a partir da perda de florestas de manguezais no Brasil por atividades humanas ou eventos climáticos (valores em toneladas de CO₂eq equivalente por hectare).

Estressor	Região	Fator de emissão (CO ₂ eq por hectare)	Referência
Carcinicultura	Nordeste (CE)	1.390 Mg	Kauffman et al. (2018b)
Carcinicultura	Norte (PA)	1.073 Mg	Bernardino et al. (2024a)
Pastagem	Norte (PA)	1.845 Mg	Bernardino et al. (2024a)
Clima	Sudeste (ES)	993 Mg	Gomes et al. (2021a)
Não identificado	Sudeste (SP)	1.395 Mg	Rovai et al. (2022)

A perda de florestas de mangue associada à extração de sal também tem causado impactos significativos semelhantes àqueles causados pela carcinicultura. Um exemplo claro é observado nos manguezais de regiões semiáridas do Nordeste, onde mangues afetados por essa atividade apresentam estoques de carbono até 12 vezes menores em comparação com áreas preservadas (Lacerda et al., 2024; Rodrigues et al., 2024).



A maior salinização e redução do aporte sedimentar de estuários do Brasil devido ao represamento dos rios a montante põem em risco a saúde dos manguezais (Gomes & Bernardino, 2020; Queiroz et al., 2022; Costa et al., 2023). As previsões de subida do nível do mar e a descarga de rejeitos também colocam sobre ameaça muitos manguezais urbanos no Brasil.

O crescimento desordenado das cidades e a construção de infraestrutura resultam no desmatamento e no aterro de manguezais, convertendo-as em importantes fontes de CO₂ e impedindo sua expansão para áreas mais altas.

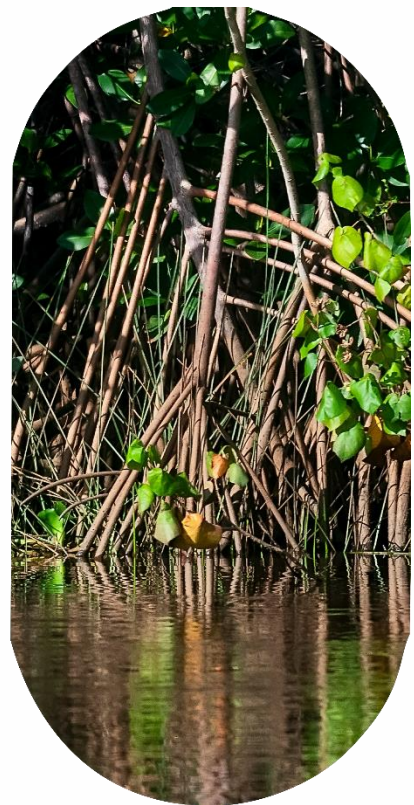
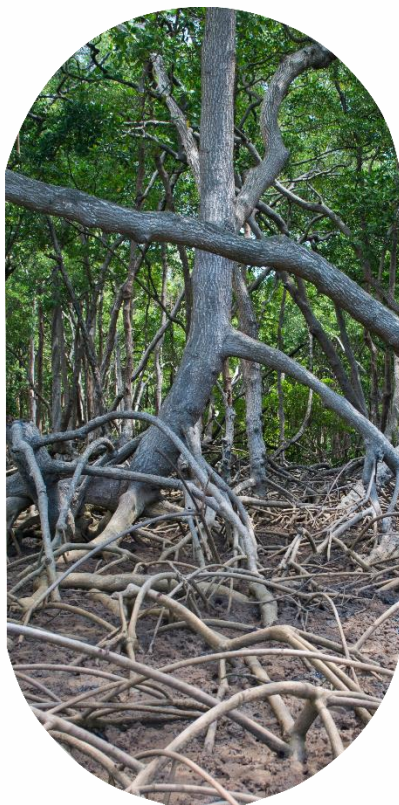
Na região Sudeste, com alta densidade populacional, as florestas de manguezais podem ter pouco espaço para acomodação em direção ao continente ou se encontram em condição de eutrofização e limitação de aporte sedimentar que limita a capacidade de florestas de se adaptar à elevação do nível do mar (Godoy & Lacerda, 2015; Bernardino et al., 2020; Ward et al., 2023).

No Brasil ainda existem limitações para que sejam realizadas predições acuradas sobre a resposta de manguezais à subida do nível do mar. Todavia, talvez as regiões mais prejudicadas sejam as principais regiões urbanas costeiras com maior represamento e degradação de rios e estuários.

Além das atividades antrópicas, as mudanças climáticas e o aumento na frequência e na intensidade dos eventos climáticos extremos são ameaças crescentes. Eventos extremos associados a fortes eventos de El Niño levaram à mortalidade de manguezais em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil (Servino et al., 2018; Gomes et al., 2021a). A mortalidade de florestas causa perda de carbono e outros serviços ecossistêmicos, como a retenção de poluentes e a produção e exportação de serrapilheira para as zonas costeiras (Gomes et al., 2021b; Queiroz et al., 2022) (Figura 6).



Figura 6. Principais ameaças naturais e antrópicas a manguezais brasileiros.



8

CENÁRIOS CLIMÁTICOS E O FUTURO DOS MANGUEZAIS BRASILEIROS



CENÁRIOS
CLIMÁTICOS E
O FUTURO DOS
MANGUEZAIS
BRASILEIROS

8. CENÁRIOS CLIMÁTICOS E O FUTURO DOS MANGUEZAIS

Mudanças no Nível Médio Relativo do Mar (NRM) alteram a extensão dos manguezais e feições associadas na zona costeira. O NRM próximo à foz do rio Amazonas, por exemplo, onde ocorrem as mais extensas áreas de manguezais no Brasil, aumentará a uma taxa de 3 mm por ano até o final do século XXI (Latour et al., 2017), próxima das estimativas globais mais recentes entre 3,1 e 3,4 mm ano⁻¹ (Dangendorf et al., 2017; Nerem et al., 2018).

Essas taxas devem acelerar entre 5 (cenário de baixa emissões de CO₂) e 10 mm ano⁻¹ (cenário de altas emissões) até o ano de 2100 (Kopp et al., 2014). Em muitas localidades, o aumento no NRM tem causado afogamento dos manguezais, asfixia mecânica por deposição excessiva de areia, ou erosão, resultando em perdas significativas de florestas (Sasmito et al., 2015).



Projeções globais sugerem que os manguezais podem acompanhar o aumento no NRM até entre 2055 e 2070 considerando uma elevação de 52–98 cm até 2100 (Trajetória de concentração atmosférica de GEE RCP 8.5) (Sasmito et al., 2015). Estudos indicam também que manguezais podem suportar um aumento no nível do mar de até 7 mm ano⁻¹ (Saintilan et al., 2020), mas esses valores são extremamente dependentes de condições locais de aporte de sedimentos. Por exemplo, as taxas de sedimentação histórica (cerca de 5 décadas) de manguezais do Brasil variam entre 1,8 e 5,4 mm ano⁻¹ sugerindo que muitos manguezais podem estar perto do seu limite de adaptação à subida do nível do mar (Sanders et al., 2010; Bernardino et al., 2020; Ward et al., 2023; Passos et al., 2024).

Em parte, a capacidade de adaptação dos manguezais à elevação do NRM está relacionada à migração lateral para outras feições das planícies de maré como, por exemplo, as planícies hipersalinas, também conhecidas como ‘salgados’ ou ‘apicuns’. Entretanto, a ocupação destas feições por fazendas de cultivo de camarão, salineiras, além de ocupações urbanas irregulares, impede a dinâmica de transição natural entre estas feições, reduzindo o potencial de compensação por perdas decorrentes de erosão costeira (Lara et al., 2002; Cohen et al., 2018; Leo et al., 2019) (Figura 7).



Figura 7. Vista aérea de manguezal do Parque Nacional do Cabo Orange no Amapá. @Victor Moriyama.

A resiliência dos manguezais diante da elevação no NRM é influenciada também pelas tipologias costeiras onde estas florestas estão inseridas (deltas, estuários, lagunas, substrato carbonático), variando em relação à altura das marés e a descarga fluvial e aporte sedimentar (McKee et al., 2007; Spencer et al., 2016; Cohen et al., 2020; 2024). Manguezais em tipologias micromareais e sem aporte significativo de sedimentos fluviais são mais vulneráveis do que planícies dominadas por grandes rios, bem como costas de macromarés, onde o volume, transporte e deposição de sedimentos é muito maior (Lovelock et al., 2015; Hagger et al., 2022).

Os manguezais conseguem até certo ponto ‘responder’ a elevação do NRM produzindo mais biomassa subterrânea para ‘ajustar’ a elevação do substrato. Além disso, a vegetação retém sedimentos contribuindo para o acréscimo vertical do substrato (Lovelock et al., 2015; Bernardino et al., 2020; Saintilan et al., 2020). Todavia, esse ajuste é



limitado e a perda de manguezais decorrente da elevação do NRM pode ocasionar a oxidação de depósitos de carbono que se acumularam no solo por centenas a milhares de anos.

Extremos climáticos envolvendo, por exemplo, fortes estiagens ou intensas chuvas, combinados com a elevação do NRM, resultarão em mudanças nos gradientes de salinidade estuarina com efeitos na distribuição e estrutura dos manguezais (Cohen et al., 2021). Em regiões onde houver diminuição na descarga fluvial (p.ex., estuários do Nordeste e Sudeste do país), o aumento do NRM proporcionará migração dos manguezais rio acima. Entretanto, em regiões de aumento na descarga fluvial (p.ex. estuários do Sul do país), um aumento do nível do mar deverá causar uma contração nas áreas de manguezais. Portanto, o monitoramento das taxas de precipitação e de aumento no nível do mar são essenciais para projetar o destino dos manguezais (Cohen et al., 2012).

Outro fator importante é a temperatura que tem facilitado a expansão de manguezais no sentido das latitudes mais altas (Osland et al., 2021). No Brasil, a migração dos manguezais para regiões subtropicais ainda é limitada pela baixa salinidade (<5‰) das lagunas costeiras e provavelmente por baixas temperaturas. Entretanto, o aumento no NRM pode promover a salinização destes corpos d'água costeiras e contribuir para a expansão dos manguezais brasileiros além do seu atual limite austral (Yao et al., 2022).

Estudos mostram que os manguezais estão progressivamente perdendo sua habilidade de adaptação às mudanças induzidas pelo clima e de fornecer seus serviços ecossistêmicos, principalmente em relação a sua ação na proteção da costa (Oppenheimer & Glavovic, 2022). Nesse contexto, é fundamental avaliarmos as características locais dos manguezais brasileiros e como eles têm respondido ao aumento no NRM em uma escala milenar-secular.

Em síntese, estudos recentes sugerem que certos manguezais podem tolerar altas taxas de aumento no NRM. Entretanto, uma avaliação da vulnerabilidade dos manguezais ao longo de uma costa extremamente heterogênea como a brasileira demanda por informações locais sobre as respostas dessas florestas às mudanças no NRM do passado (Holoceno-Antropoceno), hidrodinâmica, geomorfologia e, naturalmente, das projeções de aumento no NRM, precipitação e temperatura.

9

POTENCIAL PARA RESTAURAÇÃO



POTENCIAL
PARA
RESTAURAÇÃO

9. POTENCIAL PARA RESTAURAÇÃO

Enquanto a conservação dos manguezais é importante e provavelmente mais relevante para o Brasil, o interesse por restaurar estes ecossistemas aumentaram consideravelmente, visando principalmente a manutenção da pesca, o combate da crise climática e o alcance de metas nacionais e internacionais de conservação da biodiversidade.

Em comparação a outros ecossistemas de áreas úmidas, florestas de manguezal são de fácil manejo e podem alcançar grande sucesso nos projetos de restauração, desde que esteja associado à remoção dos estressores locais e ao reestabelecimento das condições hidrológicas naturais. Protocolos internacionais para guiar projetos de restauração existem e foram produzidos por pessoas com larga experiência em restauração ao redor do mundo (Beeston et al., 2023).

Projetos de restauração requerem análises de uma série de variáveis ecológicas antes de que seja colocada em prática a própria restauração. Sem considerar o potencial biofísico da região e as características locais históricas, sociais, políticas e financeiras, projetos de restauração de florestas de manguezais frequentemente fracassam. Considerando o alto volume de recursos destinados a projetos de restauração e a sua frequente falha, o monitoramento do seu desenvolvimento é parte crucial deste processo, pois permite uma gestão adaptativa e a informação do progresso aos entes financiadores. Uma vez que os objetivos centrais da restauração ecológica de manguezais deveria ser a recuperação de sua integridade de seu sistema, incluindo biodiversidade, processos ecológicos e garantir sua resiliência climática, a elaboração de um plano de monitoramento robusto (Cadier et al., 2020; Ferreira et al., 2023).

Estudos recentes mostram a importância na escolha de métricas de monitoramento que demonstrem a recuperação de serviços ecossistêmicos de manguezais, incluindo a dinâmica do carbono e a elevação sedimentar para garantir a resiliência climática destes ecossistemas num futuro próximo (Ruiz-Jaen e Aide, 2005). A avaliação do grau de sucesso pode levar anos e até décadas, considerando o desenvolvimento estrutural da floresta e o restabelecimento das funções ecológicas (p. ex., sequestro de carbono, acreção de solo, e recuperação da biodiversidade associada) (Mckee e Faulkner 2000; Bourgeois et al., 2024). Conclusões baseadas

em resultados de curto prazo devem ser vistas com cautela, mesmo que aparentem ser positivas.

Potencial Biofísico para restauração

O potencial de restauração de manguezais está relacionado ao histórico, ao tempo e natureza da degradação, situação fundiária e grau de reversibilidade dos impactos, este último relacionado a possibilidade de remoção de tensores ambientais e restabelecimento de conectividade com aportes fluviais e inundações regulares por preamares (Worthington et al. 2020). Do ponto de vista biofísico, a possibilidade de reestabelecimento dos fluxos hidrológicos (aportes fluviais e ação das marés) é essencial para assegurar o sucesso de iniciativas de restauração de manguezais. Tipologias costeiras dominadas por rios ou regiões de meso e macro-marés possuem características propícias para a restauração dos manguezais. O maior hidrodinamismo e constante subsídio de sedimentos e nutrientes destas áreas favorecem o potencial para o reestabelecimento de condições biofísicas ideais para a restauração induzida (plantio) ou para permitir a recuperação natural dos manguezais (Worthington et al 2020).

No Brasil, estima-se que 90.000 hectares de manguezais foram perdidos entre 1996 e 2010, principalmente ao longo de grandes centros urbanos no litoral do Nordeste e Sudeste (Bunting et al. 2022). Porém, cerca de 48.000 hectares (4% da área perdida) apresentam alto potencial para recuperação uma vez que se situam em regiões costeiras com elevada descarga de sedimentos (deltas), alta amplitude de marés (regimes de meso e macromarés) e livres de instalações antrópicas (Worthington et al 2020) (Figura Y2). Caso esta área seja restaurada com sucesso, isto poderia representar um acréscimo de pelo menos 19 milhões de toneladas de carbono, incluindo solo e biomassa (Worthington e Spalding, 2018).

Na fase de planejamento de projetos, o mapeamento do potencial biofísico para restauração dos manguezais brasileiros é extremamente útil na identificação de regiões mais favoráveis ao processo, orientando, assim, o macroplanejamento para ações. Após essa etapa, é possível analisar características locais específicas como histórico de degradação, possibilidade de remoção de tensores, situação fundiária, além de aspectos sociais e políticos (Beeston et al. 2023). Definir objetivos e metas de restauração também orientam a execução e o

monitoramento do sucesso dos projetos, onde é recomendável a escolha de métricas que indiquem a restauração de processos ecológicos chave em manguezais, incluindo o sequestro de carbono, o fluxo de nutrientes e a biodiversidade (Cadier et al., 2020).

Apesar de muitos estudos priorizarem métricas simples como diversidade estrutural e densidade de plantas por serem mais econômicas e de mais rápida resposta, estas métricas não estão sempre relacionadas à recuperação ecológica dos manguezais (Cadier et al., 2020). Desta forma, métricas mais robustas que incluem indicações de função ecossistêmica devem ser priorizadas para monitorar e avaliar o sucesso de medidas de restauração de manguezais. Para permitir o compartilhamento de experiências e de taxas de sucesso em projetos de restauração, é fundamental o uso de ferramentas unificadas para o arquivamento padronizado de informações sobre projetos e avaliação de ações propostas (Gatt et al. 2024).

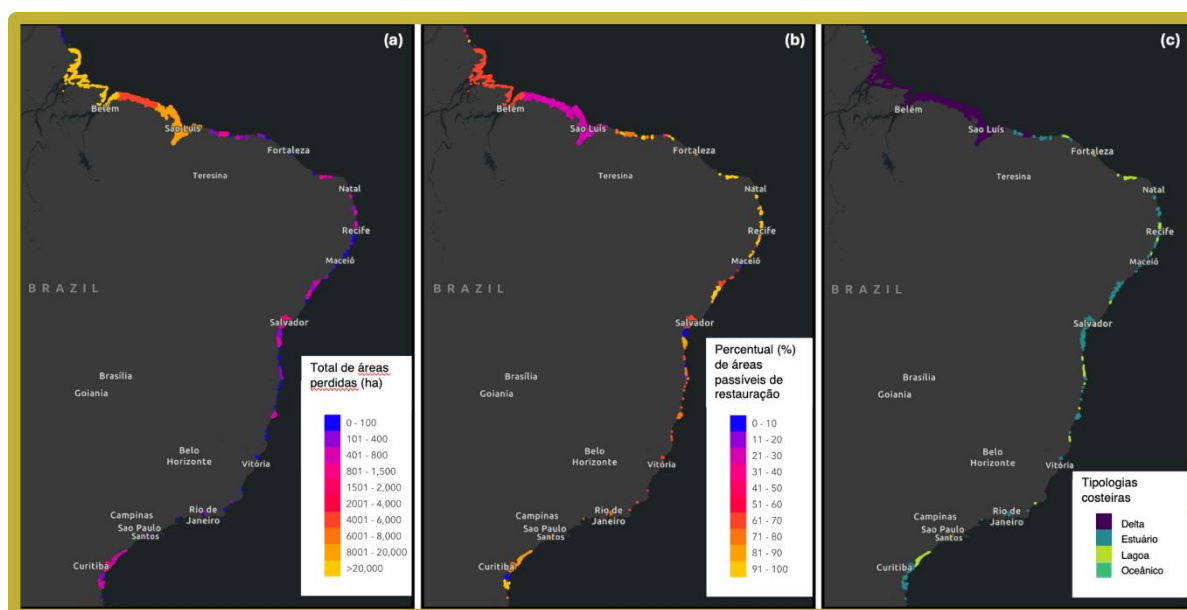


Figura 8: Total de áreas (ha) de manguezal perdidas (a), percentual (%) de áreas de manguezal passíveis de restauração (b) e distribuição de manguezais em diferentes tipologias costeiras ao longo do litoral brasileiro. Manguezais do tipo oceânico se referem aqueles expostos diretamente ao oceano com reduzido ou ausente aporte fluvial. Mapas adaptados de <https://maps.oceanwealth.org/#/mangrove> (acesso em 10/11/2024).

Projetos de Restauração em Manguezais Brasileiros

Até o final da década de 90, os projetos de restauração de florestas de manguezais no Brasil se resumiram a tentativas isoladas e experimentais, de pequena escala, com resultados raramente reportados na literatura científica (Rovai, 2012). Entre 1994 e 2010, os

esforços de reflorestamento representavam uma área total de cerca 2.600 hectares (concentrados nas regiões Sudeste e Sul do país), o equivalente a cerca de 10% da área perdida de manguezais nas últimas duas décadas.

Ainda hoje muito pouco se sabe sobre os sucessos das iniciativas e a maioria dos projetos careciam de delineamento experimental e monitoramento sistemático de médio ou longo prazos, limitando as conclusões e dificultando a aprendizagem. A partir de 2010, houve um interesse crescente em projetos de restauração de manguezais no Brasil, envolvendo instituições de pesquisa, Organizações Não Governamentais, fundações privadas e comunidades de moradores, com financiamentos públicos ou privados (p. ex., Fundo Amazônia; Petrobras e outras empresas).

Estes projetos visam um aumento nas pesquisas em ecologia da restauração, capacitação de recursos humanos, aperfeiçoamento de técnicas de cultivo (e.g. viveiros) e ações de educação ambiental com as comunidades. Pouco se sabe, entretanto, sobre resultados e taxas de sucesso das ações de reflorestamento, realizadas em grande maioria em caráter experimental e educacional.

A primeira grande iniciativa de restauração de manguezais, coordenada a nível nacional, vem do recém criado programa “Manguezais do Brasil”, que está investindo R\$ 47,3 milhões na recuperação de cerca de 1.800 hectares (2,2 mil campos de futebol) de vegetação em áreas degradadas, manguezais e dunas. Em 2023, o programa contemplou oito propostas (de 30 submetidas) de instituições sem fins lucrativos abrangendo diversos estados da federação¹.

Além da regeneração da vegetação e do monitoramento da biodiversidade, os projetos devem envolver a participação das comunidades costeiras, ações de educação ambiental e ciência cidadã. Até o presente momento, a inexistência de protocolos sistematizados de implementação e monitoramento dificulta avaliar o sucesso dessas iniciativas e seria importante que as instituições de fomento demandassem o compartilhamento de informações dessas

¹ https://www.funbio.org.br/programas_e_projetos/florestaviva/manguezaisdobrasil-2/



ações em uma plataforma de acesso aberto para avaliação dos resultados e do grau de sucesso dos projetos passados. Qualquer projeto de restauração necessita de monitoramento efetivo durante toda a sua execução, além da transparência sobre os resultados. Dessa forma, faz-se necessário aderência a ferramentas universais para a padronização e arquivamento de ações e resultados de projetos de restauração (Gatt et al. 2024).

10

MODELOS DE MERCADO DE CARBONO E O CONTEXTO BRASILEIRO



MODELOS DE
MERCADO DE
CARBONO E O
CONTEXTO
BRASILEIRO

10. MODELOS DE MERCADOS DE CARBONO E O CONTEXTO BRASILEIRO

O carbono sequestrado e armazenado por florestas de manguezais pode contribuir para metas climáticas de zero emissões por nações dentro da meta mundial de limitar o aquecimento global a 2°C (UNFCCC, 2015). No âmbito nacional, países podem contabilizar as suas fontes de sequestro e emissões de carbono através dos seus processos de inventário de emissões de GEE, os quais são determinados pelo setor de florestas e uso da terra.

Nesse setor, os benefícios obtidos com a proteção e melhor manejo dos estoques existentes ou pela restauração de florestas perdidas podem ser contabilizados através de métodos validados pelo IPCC (IPCC, 2019). Metas de emissões baseadas nessas normas podem fazer parte do documento de Contribuições Nacionais Determinadas (CND ou NDC's), as quais são atualizadas continuamente e representam os compromissos do país para mitigar as mudanças do clima (Brasil, 2023; Bernardino et al., 20^a4a).

Manguezais podem contribuir para a geração de créditos de carbono, seja por mitigação da degradação ou evitar a perda de florestas (evitar emissões), através do sequestro adicional obtido por ações de restauração de áreas degradadas ou ainda por ações de manejo que induzam um benefício líquido de carbono. As vantagens dessas ações combinadas é a obtenção de benefícios múltiplos para além do carbono sequestrado, advindos da manutenção ou aumento de serviços ecossistêmicos associados a essas florestas (Vanderklift et al., 2019).

Essa é uma maneira de assegurar benefícios econômicos oriundos do carbono azul, que resultaria em um fluxo de recursos internacionais via mercados de créditos de carbono. Determinar as áreas onde a obtenção de créditos seja mais compensatória financeiramente e aliada a garantias comerciais e retornos financeiros sobre investimentos em restauração ou proteção de florestas de manguezais é fundamental para o país. Modelos de áreas potenciais de investimento existem e indicam que ações de mitigação por desmatamento podem resultar na obtenção de créditos a baixo custo de implementação dessas estratégias (Zeng et al., 2021).

Por exemplo, na costa da Amazônia, ações de mitigação de remoção de florestas de manguezais com perdas anuais de cerca de 750 hectares podem gerar créditos sobre a manutenção de cerca de 1 milhão de toneladas anuais de CO₂eq (Bernardino et al., 2024b). Os preços da tonelada de carbono azul em mercados voluntários são altamente variáveis, mas estão próximos de 27-30 dólares americanos (USD) por tonelada, indicando que os benefícios de mitigar florestas no Brasil são muito altos (~30 milhões USD por ano), considerando os baixos custos para a sua conservação (Zeng et al., 2021; Bernardino et al., 2024b).

Esses valores consideram primariamente os benefícios financeiros obtidos a partir de ações que evitem emissões oriundas da conversão de florestas de manguezais, sem levar em conta cobenefícios de sua proteção, uma vez que mercados financeiros para outros serviços ecossistêmicos de manguezais, em geral, não existem.

Muitas nações avançaram de maneira rápida na adoção de mercados de carbono ligados a florestas de manguezais e outros ecossistemas de carbono azul. Projetos e iniciativas coletivas e pioneiras na Indonésia, Austrália e Colômbia já estão utilizando compensação de carbono através da conservação de florestas de manguezais. Tais iniciativas estabelecem metas futuras de redução ou prevenção de emissões de carbono. Vários países já incluíram manguezais nos seus cálculos nacionais de emissões de gases estufa e nas contribuições nacionais determinadas (Herr & Landis, 2016), em especial as pequenas nações insulares (Friess, 2023). As emissões associadas a perdas de manguezais são consideradas no inventário de emissões no setor de uso da Terra (LULCC), que são atualizados constantemente de acordo com a transição observada.

Na Indonésia, os fatores de emissão são detalhados para incluírem as diferenças nos subtipos florestais de áreas úmidas e seu estoque de carbono e emissões associadas específicas, permitindo maior certeza nas emissões (Nível de certeza – *Tier 3*; Murdyiarso et al., 2024). Na Austrália, um país com área de manguezais similar a do Brasil, ações de restauração de áreas úmidas são passíveis de crédito de carbono após verificação de taxas de sequestro, usando novos modelos que foram acordados pelo setor de energia limpa do governo Australiano (Lovelock et al., 2023).



No setor corporativo, um crescente número de projetos comerciais de crédito de carbono azul foi estabelecido (Wylie et al., 2016) com um forte incremento no número de projetos novos atualmente em verificação por agências de validação de créditos. Porém, muitos projetos de carbono azul ainda sofrem uma série de problemas durante sua operação, que ainda incluem limitações científicas, viabilidade financeira e conflitos de posse da terra (e.g. Macreadie et al., 2022).

Para superar essas dificuldades e aumentar as chances de sucesso de projetos de carbono azul no Brasil, é fundamental implementar regulamentações adequadas que atraiam investimento, incluindo modelos de cofinanciamento público e privados (Friess et al., 2022). Além disso, é necessário adaptar as metodologias atuais de verificação para que se ajustem ao contexto nacional, de forma semelhante ao que é realizado em outros países (e.g. Carruthers, et al., 2024).

O carbono azul é uma grande oportunidade para o país, pois as cidades costeiras podem voluntariamente implementar projetos locais de conservação e restauração de manguezais. É importante ressaltar que a verificação e acreditação de projetos de carbono azul dependem de informações científicas locais obtidas *in situ* ou estimadas a partir de dados e conversões usadas na literatura. Essas informações incluem o mapeamento e a determinação dos estoques, estimativas das taxas de sequestro e de acúmulo do carbono no solo, emissões associadas às perdas e degradação (balanço captura/emissões), além da previsão dos efeitos das mudanças climáticas (elevação do nível do mar, estreitamento da linha de costa, erosão e alterações hidrológicas) sobre a estabilidade dos estoques.

Esses são alguns dos requisitos fundamentais exigidos por certificadoras de projetos de créditos de carbono. Os investimentos nos ecossistemas de carbono azul devem ir além do simples carbono sequestrado e estocado nos solos destes ambientes: devem também incluir investimentos na biodiversidade, nas comunidades locais e na promoção da justiça climática.

11

POLÍTICAS PÚBLICAS

POLÍTICAS
PÚBLICAS

11. POLÍTICAS PÚBLICAS

As políticas públicas visam promover um desenvolvimento econômico atrelado à inclusão social e à proteção ambiental, efetivando ideias e viabilizando instrumentos para que a gestão do território promova a justiça social, econômica e ambiental (da Rocha et al., 2020). A legislação brasileira tem diversos instrumentos para a promoção do planejamento territorial, como o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei 7.661/1988), o Plano de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) e os Planos Diretores Municipais (Lei 10.257/2001). Soma-se a esses o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Brasil, 2016). Todo este arcabouço tem em comum a perspectiva de promover territórios saudáveis a partir da definição de políticas públicas considerando uma governança participativa (Abrahão & Asmus, 2018).

O Código Florestal Brasileiro, pelo decreto nº 23.793 de 23 de janeiro de 1934, fortaleceu a proteção dos manguezais e ganhou reforço no mesmo ano com o Código das Águas, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Mas foi somente em 1965 que a floresta de mangue e todas as formas florestais ganharam proteção, com a Lei Federal nº 4.771/1965, ainda mantendo a denominação de Código Florestal, estabelecendo as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APP). Em 2012, foi modificada pela Lei Federal nº 12.651, mantendo o manguezal como APP em toda a sua extensão, tanto em zonas rurais como urbanas (artigo 4º, inciso VII). Além disso, em seu artigo 3º, trouxe algumas definições, entre as quais a de manguezal (inciso XIII), reproduzindo a mesma redação da Resolução Conama nº 303/2012; salgado ou marisma (inciso XIV); apicum (inciso XV) e áreas úmidas (inciso XXVI) (Rosario e Abuchahla, 2018).

O uso intensivo do solo, a flexibilização do uso das áreas de APP e a supressão dos manguezais tornam as cidades costeiras mais vulneráveis aos eventos climáticos extremos (Brasil, 2016). Apesar disso, até 2023, cerca de 80% das cidades do país não contavam com um plano de redução de riscos e desastres (Santana Filho et al., 2023). Este cenário sugere que as políticas públicas de planejamento do território não estão atingindo seus objetivos, o que pode potencializar perdas ambientais, sociais e econômicas na próxima década.

Por outro lado, diversos atores sociais chave para a governança territorial, como instituições de ensino e pesquisa, educadores, povos tradicionais e ONGs, estão se articulando para propor estratégias de

gestão do território que visem cidades resilientes e saudáveis. Por exemplo, a elaboração em trâmite da Política Nacional de Turismo de Base Comunitária – PNTBC (Barreto e Lanzarini, 2023) e o projeto de Lei 2.933-A/2023 que tipifica o crime de ecocídio. No PNTBC são listadas iniciativas para promover o turismo responsável com protagonismo comunitário, com base em valores pautados pela economia solidária, respeito à questão ambiental e justiça social (Barreto e Lanzarini, 2023).

Tentativas de retrocesso ocorreram, como a Resolução CONAMA nº 500/2020, que facilitaria a supressão de áreas de apicuns – parte essencial dos manguezais – para a ocupação urbana e aquicultura. A intensa mobilização dos cientistas e da sociedade foi fundamental para derrubar tal resolução e garantir a proteção dos apicuns (Copertino et al. 2020; Bernardino et al. 2021). Posteriormente, a Resolução foi declarada inconstitucional com a imediata restauração da vigência e eficácia das Resoluções CONAMA nºs 284/2001, 302/2002 e 303/2002.

Um dos avanços mais recentes de proteção aos manguezais foi a criação do Programa Nacional de Conservação e o Uso Sustentável dos Manguezais do Brasil – ProManguezal ([Decreto nº 12.045 de 05 de junho de 2024](#)). A iniciativa define diretrizes, eixos de implementação e linhas de ação para conservação, recuperação e uso sustentável dos manguezais. O decreto ressalta a necessidade de considerá-los em sua integralidade, incluindo lavados, florestas de mangue e apicuns. As diretrizes incluem o reconhecimento dos serviços ecossistêmicos, articulação inter-federativa entre órgãos públicos e a valorização dos saberes tradicionais.

O ProManguezal é resultado de mais de uma década de trabalho de representantes da academia, do governo federal e da sociedade civil, entre outros parceiros e que incorpora em seu planejamento e construção elementos importantes de representação social com participação ativa de populações e comunidades tradicionais.

Políticas públicas para a conservação dos manguezais devem avançar em duas frentes: preparar a região costeira para se adaptar à mudança climática em curso e reduzir fortemente as pressões históricas sobre o ecossistema (aquicultura, agricultura, exploração de madeiras, indústria pesqueira e as instalações urbanas, industriais e turísticas; ICMBio 2018). Novas proposições de políticas públicas devem

considerar essencialmente a manutenção de florestas existentes, a restauração de manguezais degradados e a definição de espaço para sua migração especialmente em zonas urbanas e sob o cenário de aumento do NRM (Tabela 2).

Tabela 3. Conjunto de normas necessárias para garantir a conservação de manguezais na zona costeira

Pressão	Efeito	Lei existente	Soluções futuras
Mudanças do clima	Elevação do nível médio do mar	Ocupação de uso do solo na zona costeira por leis municipais, estaduais	• Estabelecer áreas urbanas de interesse público para manutenção de manguezais • Legislação para proteção específica dos banhados e áreas alagadas, salobras de transição, geralmente estabelecidos atrás das áreas de manguezal.
Ocupação urbana ou remoção de manguezais	Cidades	Resolução CONAMA 303/2002	• Priorizar infraestrutura que privilegie a função e estrutura do manguezal, p.ex. instalar rodovias elevadas em vez de aterros; • Estabelecer áreas urbanas de interesse público para manutenção de manguezais • Legislação para o estabelecimento de um cinturão verde no entorno dos manguezais (mesmo de áreas degradadas)
	Pressão pela carcinicultura	Resoluções CONAMA n°s 284/2001, 302/2002 e 303/2002	• Aumento de 17 para 30% de manguezais em UCs de proteção integral • Incentivar restauração de manguezais, em linha com CONAMA 429 (Recuperação de APPs) • Rever o artigo do Código Florestal (Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012; Art. 11-A; § 1º) onde foi legalizada a prática da carcinicultura nas áreas de apicuns/manguezais • Impedir carcinicultura dentro de qualquer tipo de UC, semelhante a Instrução Normativa MMA n°03 de 16/04/2008, para UCs federais.

12

EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO

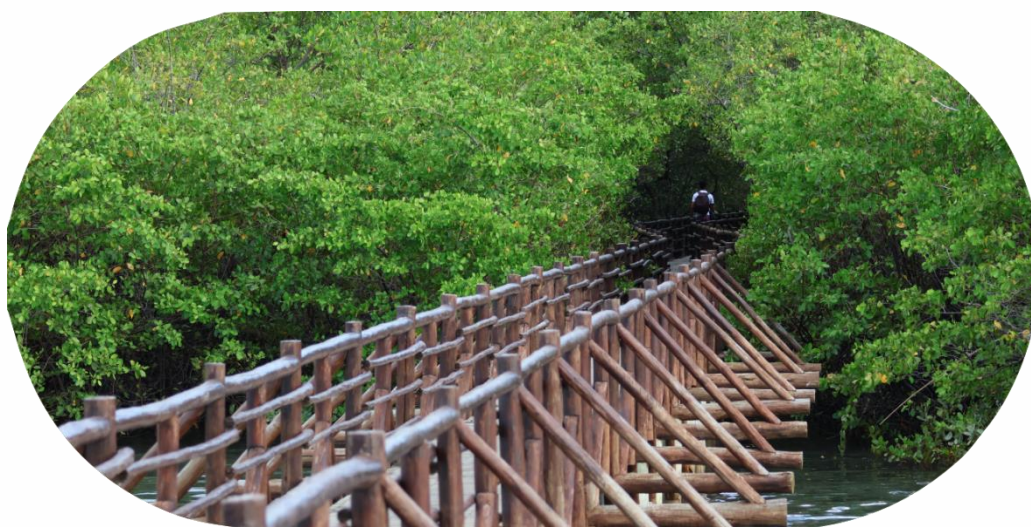


EDUCAÇÃO E
COMUNICAÇÃO

12. EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO

O censo demográfico de 2022 aponta que mais da metade da população brasileira (~111 milhões) vive perto do litoral, a menos de 150 km do mar, em mais de 400 municípios costeiros (IBGE, 2024). Muitas das cidades costeiras foram erguidas no entorno de estuários, baías e lagunas com manguezais, o que destaca a importância socioambiental destes ecossistemas. Dentre os diversos serviços ecossistêmicos providos pelos manguezais [seção X] destacam-se os benefícios culturais. Os manguezais podem ser vistos como espaço de vivência para o ensino-aprendizagem sobre processos ecológicos globais de adaptação, resiliência e ciclos biogeoquímicos, apresentando exemplos tangíveis entre teoria e prática (Almeida et al. 2023).

O I Encontro de Educação Ambiental em Área de Manguezal – ENEAAM se deu na década de 90. De 1994 a 2008 foram 15 encontros intercalados com Encontros Regionais (EREAAM) em 13 municípios de 10 estados, impulsionando publicações, principalmente a partir de 2005. Tais encontros introduziram estratégias de edu-comunicação e foram abertas à participação de líderes comunitários e partes interessadas em manguezais. Propostas discutidas nos encontros foram incorporadas em práticas educacionais voltadas para melhorar as habilidades de expressão dentro da comunidade escolar, assim como a criação de ferramentas pedagógicas dentro das comunidades (Almeida et al. 2023).



O Instituto BiomaBrasil contribuiu para a formação de professores das redes públicas com o projeto “Guia Didático os Maravilhosos Manguezais do Brasil”. A partir de 2007, o projeto já formou 680



profissionais da educação de 189 escolas, em 15 municípios costeiros, trabalhando temas como ecologia do manguezal, conectividade, impactos ambientais, mudanças climáticas, cidadania ambiental, dentre outros (Massei et al, 2024). Os registros deste e de outros projetos alimentaram uma plataforma de monitoramento, coordenada por um Comitê Gestor formado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), por meio do Departamento de Educação Ambiental e Cidadania-DEA (Raymundo et al. 2024).

O Projeto Político Pedagógico da Zona Costeira e Marinha (PPPZCM) tem como objetivo geral criar diretrizes pedagógicas e institucionais que contribuam para o desenvolvimento de processos educativos com o foco no uso sustentável e conservação da biodiversidade da Zona Costeira e Marinha do Brasil. A plataforma denominada Monitora/PPPZCM é uma ferramenta tecnológica para o monitoramento e avaliação coletiva e colaborativa de cada uma das iniciativas educativas que compõe o eixo operacional do projeto, possibilitando ampliar a visibilidade, a transparência e a análise crítica dos avanços e desafios na implementação das diretrizes e objetivos do PPPZCM (Raymundo, et al, 2024). A plataforma conta com 419 ações registradas ao longo do litoral brasileiro, sendo quase a metade no litoral nordestino.

A partir de 2025, as escolas brasileiras deverão passar a trabalhar em sala de aula com os temas associados às mudanças do clima e à proteção da biodiversidade, a partir da sanção pela Lei Federal nº 14.926/2023, que modifica a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA — Lei Federal nº 9.795/99), acrescentando o estudo desses assuntos entre os objetivos da educação ambiental nacional.

A promoção da Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável e da Década da Restauração, promulgadas pela ONU, assim como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, encontram na educação ambiental e na ciência cidadã um espaço de vivência para catalisar o engajamento social frente aos temas da crise ambiental e da emergência climática. A Rede Brasileira de Ciência Cidadã (RBCC), a Rede Brasileira de Educação Ambiental (REBEA) e a Rede de Educação Ambiental Costeira e Marinha (REACOMAR) são formadas e autoadministradas pela organização social brasileira, com representantes da academia, ONGs, educadores e educadoras que trazem os temas socioambientais relacionados aos manguezais para suas diversas práticas.



Programas e projetos vinculados às instituições de ensino, de pesquisa e às ONGs reforçam a prática escolar em prol do engajamento de crianças e jovens pela conservação dos mares, ecossistemas costeiros e manguezais, entre os quais destaca-se o Programa Escola Azul, com apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, que cria uma rede de escolas e parceiros e orienta ações para diversificar o aprendizado, o qual já está presente em 21 estados brasileiros.

Ações regionais e locais, como as Escolas do Mar em Santos e Santa Catarina, vinculadas às Secretarias Municipais de Educação, promovem a formação de professores, a produção de material paradidático e a vivência nos manguezais como estratégia de ensino-aprendizado. No âmbito da ciência-cidadã, os projetos RestoreSea e Raízes da Cooperação disponibiliza o aplicativo Cientista do Mar (<https://raiz.top/>) para promover a análise da estrutura e saúde dos manguezais e para organizar e compartilhar resultados georreferenciados em linguagem acessível para estudantes, educadores e gestores ambientais. Essas ações são necessárias, já que a formação de educadores, a produção de material paradidático e de ferramentas a serem aplicadas no âmbito educacional são identificados como limitantes para promover a educação ambiental e científica com foco aos manguezais no espaço escolar (Fonseca et al., 2024).

Além dessas redes e em acordo com as recomendações da 1ª Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental de Tbilisi (de 1977) e com o Decreto nº 4.281, de 25 de junho de 2002, as Comissões Interinstitucionais de Educação Ambiental (CIEAs) conectam as diversas secretarias do estado, como meio ambiente e educação e demais atores sociais, como representantes de instituições de ensino e pesquisa e ONGs.

As CIEAs atuam na instância estadual da federação brasileira para identificar, analisar e propor ações e processos participativos na construção e acompanhamento de políticas e programas de Educação Ambiental. Estas estruturas organizacionais são a base para a promoção da Educação Ambiental Climática crítica e devem ser consideradas para viabilizar as ações em prol da conservação e restauração dos manguezais, como estratégia para a mitigação e adaptação à emergência climática.

13

TEMAS E AÇÕES PRIORITÁRIAS

TEMAS E
AÇÕES
PRIORITÁRIAS

13. TEMAS E AÇÕES PRIORITÁRIAS



Promover interdisciplinaridade e participação social

Atualmente é amplamente reconhecido que a manutenção dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos manguezais depende do conhecimento acumulado por diversos grupos da sociedade, incluindo comunidades indígenas, quilombolas e as comunidades pesqueiras tradicionais.

A dependência exclusiva do conhecimento científico pode resultar em intervenções limitadas e socialmente injustas, pois tendem a se basear em evidências parciais e a refletir principalmente os interesses predominantes do meio acadêmico (Ludwig et al., 2022). Uma maneira de integração é a participação ativa de povos tradicionais, que serve como uma ferramenta para que os diferentes tipos de conhecimento acumulados possam influenciar e promover soluções ambientais (Glaser, 2003).

Essa estratégia de pesquisa transdisciplinar permite que outros atores contribuam para o desenvolvimento sustentável e o bem comum de maneiras alternativas e potencialmente mais eficazes, especialmente ao enfrentar problemas complexos atuais como as mudanças climáticas (Lawrence et al., 2022). Assim, considerando que a abordagem inclusiva de povos com conhecimento tradicional e a academia pode ser mais eficiente em termos de implementação de políticas públicas, é essencial investimentos em pesquisa que procurem intensificar essas interações.

Monitorar as Mudanças Climáticas

Para a uma compreensão dos efeitos das mudanças climáticas nos manguezais devem ser realizados estudos de monitoramento em diferentes escalas de tempo. Estudos nas escalas de tempo relativamente curta (i.e., *snapshot*, mensais, sazonais ou com duração de apenas alguns anos) podem identificar alguns desses efeitos como, por exemplo, impactos de eventos extremos como grandes tempestades, inundações, secas e ondas de calor severas.

Todavia, para compreender os efeitos de um aumento na frequência de eventos extremos ou mesmo de efeitos crônicos em escalas temporais decadais, incluindo aumento da temperatura da água dos oceanos ou aumento do nível do mar, são necessários monitoramentos e pesquisas de longo prazo. Esses estudos de longa duração são essenciais para investigar alterações nas relações entre a biodiversidade, o funcionamento dos manguezais, a saúde pública e o bem-estar humano.

O monitoramento da cobertura de manguezal, em escalas de tempo maiores, pode ser realizado por sensoriamento remoto. Contudo, embora o sensoriamento seja importante, existem limitações no que pode ser de fato monitorado. Por exemplo, quando se tem interesse em avaliar os serviços ecossistêmicos e a saúde das florestas de manguezais, a determinação da causa das alterações na cobertura dos manguezais frequentemente não pode ser estabelecida (p. ex., Neres et al. 2024).

Além disso, muitos outros efeitos não são avaliados apenas com sensoriamento remoto (i.e., alterações nos serviços de provisão e culturais, alterações na biodiversidade). Dessa forma, implementar políticas públicas para aumentar o investimento em pesquisa e monitoramento dos manguezais brasileiros em longo prazo seria importante para fomentar a formação e o aprimoramento de redes de pesquisa em programas nacionais existentes (p. ex., Programa Ecológico de Longa Duração, PPBio).

Redução de lacunas espaciais

Para que os manguezais e outros ecossistemas de carbono azul possam ser avaliados em termos dos benefícios associados à sua conservação e restauração, bem como incluídos no inventário nacional de GEE, é essencial aprimorar a resolução na quantificação do



armazenamento e das taxas de acúmulo de carbono ao longo da costa brasileira. Isso exige que o planejamento e o desenho experimental dos projetos sejam robustos, custo-eficientes, alinhados com as políticas públicas e que levem em conta a variabilidade dos estoques e das taxas de acúmulo de carbono, que podem variar em ordens de magnitude dentro de um mesmo ecossistema (Hatje et al., 2021, 2023). Além disso, é necessário considerar os fluxos de GEE dentro e entre diferentes regiões costeiras.

A diferenciação da capacidade de acúmulo de carbono entre ecossistemas deve priorizar as taxas de acúmulo de carbono orgânico ao longo do tempo, em vez de comparar apenas os estoques. Essa abordagem é mais eficaz para identificar “hotspots” de acúmulo de carbono, essenciais para estratégias de conservação e restauração. A avaliação dos ecossistemas de carbono azul também deve ser feita em escala de paisagem, de modo que as transferências de carbono entre ecossistemas sejam contabilizadas. Além disso, o balanço líquido dos fluxos de carbono é necessário para estimar o potencial de mitigação dos manguezais em relação às emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis.

Contudo, ainda há pouco conhecimento sobre a troca líquida lateral de espécies de carbono por marés, especialmente a exportação de alcalinidade, que é reconhecida como um mecanismo de armazenamento de carbono a longo prazo em águas costeiras (Ovalle et al., 1990). Esse processo pode representar entre 25% e 40% dos balanços de carbono em manguezais e marismas (Bogard et al., 2020; Reithmaier et al., 2023). Prever como o balanço dos fluxos de carbono nos manguezais será afetado pelas mudanças climáticas é crucial para avaliar a permanência do carbono orgânico estocado nesses ecossistemas e seu potencial contínuo de remoção de CO₂ atmosférico.

No planejamento experimental dos projetos, deve-se empregar uma estratificação cuidadosa, considerando as variações das condições ambientais (por exemplo, geomorfologia, zona climática, hidrodinâmica, distância da costa e cobertura vegetal) que influenciam o acúmulo de carbono e os fluxos associados. É fundamental garantir o uso das melhores práticas nos procedimentos de campo, incluindo a coleta de amostras e os métodos de laboratório para determinar o conteúdo de carbono, as taxas de acúmulo e emissão, a origem dos estoques de carbono e as incertezas associadas a cada método.



Isso assegura a obtenção de dados de alta qualidade, baseados em cálculos robustos e conservadores do status (linhas de base) e da adicionalidade resultante de ações de restauração e conservação. Para redução das lacunas de informações, o envolvimento das comunidades costeiras e tradicionais é essencial. Ademais, esta participação permitirá maximizar os potenciais benefícios socioeconômicos, aumentando a probabilidade de que futuros projetos de carbono azul gerem múltiplos cobenefícios tanto para as pessoas quanto para o meio ambiente.

Inventariar e monitorar os fluxos de GEE (emissões e remoções)

Conhecer o balanço líquido dos fluxos de carbono permite estimar o potencial de mitigação dos manguezais em relação a emissões de gases do efeito estufa oriundos da queima de combustíveis fósseis. Os impactos antropogênicos nos ecossistemas costeiros geralmente intensificam a emissão de gases de efeito estufa (GEE), criando oportunidades para ações de proteção e restauração desses ecossistemas, com o objetivo de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e gerar múltiplos cobenefícios.

Para isso, é fundamental produzir dados que quantifiquem as condições de base e projetem os benefícios em termos de redução de emissões de GEE. Dessa forma, adquirir essas informações em iniciativas de restauração é primordial, uma vez que o limitado volume de dados espaciais e temporais atualmente existentes limitam avanços na aplicação em políticas públicas.

Mapear Serviços Ecossistêmicos

É fundamental avançar no mapeamento e na determinação e valoração dos serviços ecossistêmicos dos manguezais em toda a costa brasileira. No Brasil, os serviços ecossistêmicos providos por manguezais são bens públicos e, portanto, ameaçados pela posse da terra ou degradação destes ecossistemas. Assim, é necessário valorar estes serviços para sua gestão eficaz incluindo análises de risco e de viabilidade de empreendimentos que proponham a supressão da vegetação. Esses dados são essenciais para a eficiente gestão territorial costeira e podem, inclusive, guiar estimativas de dados ambientais e de recuperação de áreas degradadas por órgãos públicos.

Para mapear e gerir os manguezais com foco em sua proteção a longo prazo e no bem-estar das comunidades costeiras é fundamental integrar o conhecimento ecológico tradicional ao conhecimento acadêmico baseado em dados validados. Essa abordagem deve ir além dos benefícios relacionados ao carbono, abrangendo toda a gama de serviços ecossistêmicos, quantificando-os e atribuindo-lhes valor em escala local. O mapeamento dos serviços ecossistêmicos e uma capitalização justa dos serviços dependem da responsabilidade de compreender os benefícios e a gestão comunitária.

Aperfeiçoar a ciência da restauração

Para atingir metas de restauração deve-se reduzir riscos dos grandes projetos pela adoção de protocolos de implementação e monitoramento já validados, testados e replicáveis. A restauração de manguezais requer investir na capacitação das comunidades tradicionais e/ou locais, assim como mecanismos para combinar oportunidades de restauração com os possíveis investidores interessados.

A criação de parcerias público-privadas para a restauração de manguezais, em conjunto com comunidades locais, é altamente recomendada para viabilizar e incentivar projetos de carbono azul com o objetivo de obtenção de créditos.

Todos os temas prioritários listados acima dialogam com planos recentes para a conservação e restauração de manguezais (e.g. ProManguezal, MMA) e dos biomas brasileiros (Plano de Restauração da Vegetação Nativa) e com redes de pesquisas existentes.

14

CONCLUSÕES



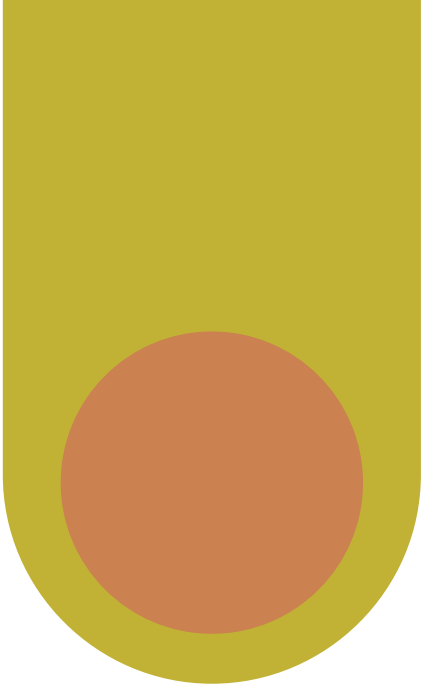
CONCLUSÕES

14. CONCLUSÕES

O Brasil possui significativa extensão de florestas de manguezais com alto potencial ecológico, climático e de suporte à vida de milhões de pessoas. Os manguezais brasileiros sequestram e estocam carbono em níveis compatíveis ou mais elevados que outros ecossistemas terrestres e possuem notável estado de conservação, fruto de políticas públicas exitosas e de robusto arcabouço legal. Ademais, fornecem uma gama de benefícios diretos e indiretos para a população brasileira e beneficiam setores econômicos de relevância para o país. Nos últimos anos, foram obtidos avanços científicos consideráveis através de estudos sobre florestas de mangues de norte a sul do país e, hoje, tais pesquisas permitem uma melhor compreensão do seu valor cultural, social e econômico.

Com o conhecimento adquirido sobre os manguezais, o país pode avançar em estratégias estabelecidas em acordos climáticos e utilizar a mitigação e restauração destas florestas em seu inventário de emissões de gases estufa. Existem plataformas de monitoramento de cobertura florestal que, aliadas a estudos de campo, já fornecem estimativas de emissões evitadas por degradação e remoção de florestas de mangues em algumas regiões do Brasil. O avanço de projetos de mercados de carbono utilizando o carbono azul necessita de regulamentações técnicas e legais importantes para atrair investimento internacional e, assim, viabilizar novas medidas de mitigação e restauração.

Existem importantes ameaças regionais, assim como o enfraquecimento regulatório e incertezas científicas sobre o futuro dos manguezais e sobre os efeitos associados ao clima e à elevação do nível relativo médio do mar. Algumas dessas incertezas deveriam ser foco de estudos de longo prazo no Brasil e de cuidado dos órgãos reguladores para permitir aumentar a resiliência climática dessas florestas. Florestas de mangues serão fundamentais para a nossa adaptação a um clima mais imprevisível e a um oceano em mudança nas próximas décadas, especialmente em zonas urbanas costeiras onde o potencial de danos à infraestrutura e às pessoas é maior.



REFERÊNCIAS



REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, G. R., ASMUS, M. Sistema de governança em Unidades de Conservação. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 44, p. 104 - 117, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54962>
- ALMEIDA, R.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; DELGADO-MENDEZ, J. M.; ABUCHAHLA, G. M. O. COELHO-JR, C. Contribution of Environmental Education to Mangrove Conservation. In: NOVELLI, Y. S et al (Eds.): *Brazilian Mangroves and Salt Marshes*. Springer Nature Switzerland, 2023.
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, v. 29, pp. 331- 49, 2002.
- ALONGI, D. M. Global significance of Mangrove Blue Carbon for Climate Change *Mitigation*, v. 2, n. 67, p. 1-15, 2020.
- ASCHENBRENNER, A., HACKRADT, C. Q., FERREIRA, B. P. Spatial variation in density and size structure indicate habitat selection throughout life stages of two SW Atlantic snappers. *Marine Environmental Research*, v. 113, pp. 49-55, 2016.
- BARBIER, E. B, HACKER, S. D, KENNEDY, C, KOCH, E. W, STIER, A. C, SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, v. 81, pp. 169-93, 2010.
- BARCELLOS, D., QUEIROZ, H. M., NÓBREGA, G. N., DE OLIVEIRA FILHO, R. L., SANTAELLA, S. T., OTERO, X. L., FERREIRA, T. O. Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* v. 142, p. 58-63, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.031>
- BARRETO, L. M. T, LANZARINI, R. S. B. Política Nacional de Turismo de Base Comunitária: subsídios e orientações técnicas. Natal, RN. Ministério do Turismo, 2023.
- BEESTON, M., CAMERON, C., HAGGER, V., HOWARD, J., LOVELOCK, C., SIPPO, J., et al (Eds.): *Best practice guidelines for mangrove restoration*. Washington DC: Global Mangrove Alliance, 2023.
- BERNARDINO, A. F., SANDERS, C. J., BISSOLI, L. B., GOMES, L. E. O., KAUFFMAN, J. B., FERREIRA, T. O. Land use impacts on benthic bioturbation potential and carbon burial in Brazilian mangrove ecosystems. *Limnology and Oceanography*, v. 65, p. 2366-2376, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.11458>
- BERNARDINO, A. F., NOBREGA, G. N., FERREIRA, T. O. Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy*, v. 125, p. 1-3, 2021.
- BERNARDINO, A. F., MAZZUCO, A. C. A., SOUZA, F. M., SANTOS, T. M. T., SANDERS, C. J., MASSONE, C. G., COSTA, R. F., SILVA, A. E. B., FERREIRA, T. O., NÓBREGA, G. N., SILVA, T. S. F., KAUFFMAN, J. B. The novel mangrove environment and composition of the Amazon Delta. *Current Biology*, v. 32, 3636-3640.e2, 2022.
- BERNARDINO, A. F., MAZZUCO, A. C. A., COSTA, R. F., SOUZA, F., OWUOR, M. A., NÓBREGA, G. N., SANDERS, C. J., FERREIRA, T. O., KAUFFMAN, J. B., 2024a. The inclusion of Amazon mangroves in Brazil 's REDD + program. *Nature Communications*, v. 15, p. 1549-1559. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45459-w>
- BERNARDINO, A. F., QUEIROZ, H. M., NÓBREGA, G. N., COPPO, G. C., SANDERS, C. J., SILVA, A. E. B., KAUFFMAN, J. B., COSTA, R. F., PACHECO, C. F., VASSOLER, A., PEREIRA, A. P., RUIZ, F., FERREIRA, T. O. Soil greenhouse gas fluxes partially reduce the net gains in carbon sequestration in mangroves of the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, v. 263, 120102, 2024.
- BOGARD, M. J., BERGAMASCHI, B. A., BUTMAN, D. E., ANDERSON, F., KNOX, S. WINDHAM-MYERS, L. Hydrologic Export Is a Major Component of Coastal Wetland Carbon Budgets. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 34, n. 8, pp. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019GB006430>
- BRASIL. Decreto nº 12.045, de 5 de junho de 2024. Institui o Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável dos Manguezais do Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 6 jun. 2024.
- BRASIL, 2016. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 1: estratégia geral: portaria MMA no 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente.
- BRASIL, 2023. Brazil's National Forest Reference Emission Level for Results- based payments for REDD+ under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- BREITHAUPT, J. L., STEINMULLER, H. E. Refining the global estimate of mangrove carbon burial rates using sedimentary and geomorphic settings. *Geophysical Research Letters*, v. 1, n. 18, e2022GL100177, 2022.

- BUNTING, P.; ROSENQVIST, A.; HILARIDES, L.; LUCAS, R.M.; THOMAS, N.; TADANO, T.; WORTHINGTON, T. A.; SPALDING, MURRAY, N. J.; REBELO, L.-M. 2022. Global Mangrove Extent Change 1996–2020. *Remote Sens*, v. 14, n. 15, 3657, 2022.
- CABRAL, A., DITTMAR, T., CALL, M., SCHOLTEN, J., REZENDE, C., ASP, N., GLEDHILL, M., SEIDEL, M., SANTOS, I. Carbon and alkalinity outwelling across the groundwater- creek-shelf continuum off Amazonian mangroves. *Limnology and Oceanography Letters*, v. 6, pp. 369–378, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/lol2.10210>
- CABRAL, A., REITHMAIER, G.M.S., YAU, Y. Y. Y., COTOVICZ, L., BARREIRA, J., VIANA, B., HAYDEN, J., BOUILLON, S., BRANDINI, N., HATJE, V., REZENDE, C., FONSECA, A., SANTOS, I. Large porewater-derived carbon outwelling across mangrove seascapes revealed by radium isotopes. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 129, e2024JC021319, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024JC021319>
- CADIER, C., BAYRAKTAROV, E., PICCOLO R AND ADAME, MF. Indicators of Coastal Wetlands Restoration Success: A Systematic Review. *Frontiers in Marine Science*. v. .7, 600220, 2020.
- CARRUTHERS, T. J. B.; JONES, S. B.; TERRELL, M. K.; SCHEIBLY, J. F.; PLAYER, B. J.; BLACK, V. A.; EHRENWERTH, J. R.; BIBER, P. D.; CONNOLLY, R. M.; CROOKS, S.; CUROLE, J. P.; DARNELL, K. M.; DAUSMAN, A. M.; DEJONG, A. L.; DOYLE, S. M.; ESPOSITO, C. R.; FRIESS, D. A.; FOURQUEREAN, J. W.; GEORGIOU, I. Y.; GRIMSDITCH, G. D.; HE, S.; HILLMANN, E. R.; HOLM, G. O. Jr.; HOWARD, J.; JUNG, H.; JUPITER, S. D.; KISKADDON, E.; KRAUSS, K. W.; LAVERY, P. S.; LIU, B.; LOVELOCK, C. E.; MACK, S. K.; MACREADIE, P. I.; MCGLATHERY, K. J.; MEGONIGAL, J. P.; ROBERTS, B. J.; SETTELMYER, S.; STAVEN, L. W.; STEVENS, H. J.; SUTTON-GRIER, A. E.; VILLA, J. A.; WHITE, J. R.; WAYCOTT, M. Identifying and filling critical knowledge gaps can optimize financial viability of blue carbon projects in tidal wetlands. *Frontiers in Environmental Science*, v. 12, e1421850, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1421850>
- COHEN, M. C. L.; RODRIGUES, E.; ROCHA, D. O. S.; FREITAS, J.; FONTES, N. A.; PESSENDA, L. C. R.; DE SOUZA, A. V.; 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, 2025.
- COPERTINO, M. S. Add coastal vegetation to the climate critical list. *Nature*, v. 473. n. 7347, pp. 255–255, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/473255a>
- COPERTINO, M. S.; CIOTTI, A. M.; LANARI, M.; TARDIN, R.; MAZZUCO, A. C. A.; MOSER, G.; MAGRIS, R. A.; FRÉDOU, F. L.; BOTTA, S.; KIKUCHI, R. K. P. K.; CARDOSO, L. G.; GIARRIZZO; NAGATA, R.; LEONEL, J. 2024. O histórico de mudança e o estado atual da biodiversidade na zona marinha costeira. Em: Sumário para tomadores de decisão: Diagnóstico Marinho-Costeiro da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. No prelo.
- COSTA, Y., MARTINS, I., CARVALHO, G. C., Barros, F. Trends of sea-level rise effects on estuaries and estimates of future saline intrusion. *Ocean and Coastal Management*, v. 236, 106490, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106490>
- COTOVICZ, L. C.; ABRIL, G.; SANDERS, C. J.; TAIT, D. R.; MAHER, D. T.; SIPPO, J. Z.; HOLLOWAY, C.; YAU, Y.; SANTOS, I. Methane oxidation minimizes emissions and offsets to carbon burial in mangroves. *Nature Climate Change*, v. 14, p. 275–281, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01927-1>
- DA ROCHA, S. A. N, GUIMARÃES, S. O., LOUREIRO, C. F. B. As políticas públicas como instrumento efetivo para o planejamento territorial e sua relação com o desenvolvimento sustentável. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 9, n. 4, p. 547, 2020.
- 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, 808, 2019.
- DUPONCHELLE, F., ISAAC, V. J., DORIA, C. R. C., VAN DAMME, P. A., et al. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conservation Marine Freshwater Ecosystems*, v. 31, pp. 1087–1105, 2021.
- DUKE, N. C.; KOVACS, J. M.; GRIFFITHS, A. D.; PREECE, L.; HILL, D. J. E.; VAN OOSTERZEE, P.; MACKENZIE, J.; MORNING, H. S.; BURROWS, D. Large-scale dieback of mangroves in Australia. *Marine and Freshwater Research*, v. 68, p. 1816, 2017. <https://doi.org/10.1071/MF16322>
- FERREIRA, A. C., LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean and Coastal Management*, v. 125: pp. 38–46, 2016.
- FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D.; RODRIGUES, J. V.; BEZERRA, L. E. A. New contributions to mangrove restoration/rehabilitation protocols and practices. *Forest Ecology & Management*, v.

31, p. 89-114, 2023.
<https://doi.org/10.1007/s11273-022-09903-2>

FERREIRA, T. O.; QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; DE SOUZA JÚNIOR, V. S.; BARCELLOS, D.; FERREIRA, A. D.; OTERO, X. L. Litho-climatic characteristics and its control over mangrove soil geochemistry: A macro-scale approach. *Science of the Total Environment*, v. 811, p. 152152, 2022.

FONSECA, A. L., BAGGIO, M. R., & NUNES, M. R. M. D. Manguezal, o espaço de vivência transdisciplinar para a promoção da ciência cidadã e da cultura oceânica. Em: D. de Castro & L. H. F. Pimenta (Eds.): Os mangues do sul do Brasil. Via Sapiens: 2024.

FRIESS, D. A. The potential for mangrove and seagrass blue carbon in Small Island States. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101324, 2023.

GASPARINETTI, P., JERICO-DAMINELLO, C., SEEHUSEN, S. E., VILELA, T. Os valores ecossistêmicos dos manguezais brasileiros, instrumentos econômicos para sua conservação e o estudo de caso do Salgado Paraense. FUNBIO: GEF Mangue, PNUD, 2018.

GATT, Y. M.; WALTON, R. W.; ANDRADI-BROWN, A. A.; SPALDING, M. A.; ACOSTA-VELAZQUEZ, J. A.; ADME, M. F.; BARROS, F.; BEESTON, M. A.; BERNARDINO, A. F.; BUELOW, C. A.; CADIER, C. et al. The mangrove restoration tracker tool: meeting local practitioner needs and tracking the progress toward global targets. *One Earth*, v. 7, p. 1-14, 2024.

GLASER, M. Interrelations between mangrove ecosystem, local economy and social sustainability in Caete estuary, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, v. 11, pp. 265-272, 2003.

GOMES, L. E. O., BERNARDINO, A. F. Drought effects on tropical estuarine benthic assemblages in Eastern Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 703, 135490, 2020.

GOMES, L. E. O., SANDERS, C. J., NOBREGA, G. N., VESCOVI, L. C., QUEIROZ, H. M., KAUFFMAN, J. B., FERREIRA, T. O., BERNARDINO, A. F. Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. *Journal of Environmental Management*, v. 297, 113381, 2021a.

GOMES, L. E. O., VESCOVI, L. C., BERNARDINO, A. F. The collapse of mangrove litterfall production following a climate-related forest loss in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 162, 111910, 2021b.

HATJE, V.; SOUZA, M. C. B. N.; RIBEIRO, L. F.; EÇA, G. F.; BARROS, F. Detection of environmental impacts of shrimp farming through multiple lines of evidence. *Environmental Pollution*, v. 1, pp. 1-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.056>.

HATJE, V., MASQUÉ, P., PATIRE, V. F., DÓREA, A., BARROS, F. Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves. *Limnology and Oceanography*, v. 66, p. 321-334, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.11607>

HATJE, V., COPERTINO, M., PATIRE, V. F., OVANDO, X., OGBUKA, J., JOHNSON, B. J., KENNEDY, H., MASQUE, P., CREED, J. C. Vegetated coastal ecosystems in the Southwestern Atlantic Ocean are an unexploited opportunity for climate change mitigation. *Communications Earth & Environment*, v. 4, 160, 2023.

Herr, D., LANDIS, E. Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Policy Brief. Gland, Switzerland: IUCN and Washington, DC, USA: TNC - 2016.

HOWARD, J., SUTTON-GRIER, A., HERR, D., KLEYPAS, J., LANDIS, E., MCLEOD, E., PIDGEON, E., SIMPSON'S. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and Environment*, v. 15, pp. 42-50, 2017.

HOLMQUIST, J. R., WINDHAM-MYERS, L., BLISS, N., CROOKS, S., MORRIS, J. T., MEGONIGAL, J. P., TROXLER, T., WELLER, D., CALLAWAY, J., DREXLER, J., FERNER, M. C., GONNEEA, M. E., KROEGER, K. D., SCHIELE-BEERS, L., WOO, I., BUFFINGTON, K., BREITHAUP, J., BOYD, B. M., BROWN, L. N., ... WOODREY, M. (2018). Accuracy and precision of tidal wetland soil carbon mapping in the conterminous United States. *Scientific Reports*, v. 8, 9478, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26948-7>

ICMBio, 2018. Atlas dos Manguezais do Brasil. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, DF, 176p.

IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Ch 7. Wetlands. Lovelock, C. E., EVANS, C., BARROS, N., PRAIRIE et al.

JUNK, W. J., PIEDADE, M. T. F., LOURIVAL, R., WITTMANN, F., KANDUS, P. Lacerda, L. D.; BOZELLI, R. L., ESTEVES, F. A., NUNES DA CUNHA, C., MALTCHICK, L., SCHOENGART, J. & SCHAEFFER-NOVELLI, Y., Agostinho, A. Brazilian wetlands: Definition, delineation and

classification for sustainable management and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 24, pp. 5-22, 2014.

KAUFFMAN, J. B., BERNARDINO, A. F., FERREIRA, T. O., GIOVANNONI, L. R., GOMES, L. E. O., ROMERO, D. J., JIMÉNEZ, L. C. Z., Ruiz, F. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, v. 14, 20180208, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>.

KAUFFMAN, J. B., BERNARDINO, A. F., FERREIRA, T. O., BOLTON, N. W., GOMES, L. E. O., NÓBREGA, G. N. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and Evolution*, v. 8, 5530-5540, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>

LACERDA, L. D.; FERREIRA, A. C., BORGES, R. & WARD, R. D. Mangroves of Brazil. In: Dr. Das, S.C., Ashton, E. and THAMMINENI, P. (Eds): *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation*. Springer Verlag: Berlin, 2022.

LACERDA, L. D.; FERREIRA, A. C., BORGES, R. & WARD, R. D. Challenges to mangroves of the equatorial semiarid coast of Brazil in the Anthropocene. *Coastal Futures*: Cambridge, 2024.

LANA, P. C., BERNARDINO, A. F. Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective. Springer International Publishing, 2018.

LAWRENCE M. G., WILLIAMS S., NANZ, P., RENN, O. Characteristics, potentials, and challenges of transdisciplinary research. *One Earth*, v. 5, n. 1, pp. 44-61, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.010>.

LOVELOCK, C. E., FELLER, I. C., REEF, R., HICKEY, S., BALL, M. C. Mangrove dieback during fluctuating sea levels. *Sci. Rep.* v. 7, pp. 1-8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01927-6>

LOVELOCK, C. E., ADAME, M. F., BRADLEY, J., DITTMAN, S., HAGGER, V., HICKEY, S. M., HUTLEY, L. B., JONES, A., KELLEWAY, J. J., LAVERY, P. S., MCCREADIE, P. I., MAHER, D. T., MCGINLEY, S., MCGLASHAN, A., PERRY, S., MOSLEY, L., ROGERS, K., SIPPO, J. Z. An Australian blue carbon method to estimate climate change mitigation benefits of coastal wetland restoration. *Restoration Ecology*, v. 31, n. 7, e13739, 2023.

LUDWIG D., BLOK V., GARNIER M., MACNAGHTEN P., POLS A. What's wrong with global challenges? *Journal of Responsible Innovation*, v. 9, n. 1, p. 6-27, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.1080/23299460.2021.2000130>

MACCREADIE, P. I., ROBERTSON, A. I., SPINKS, B., ADAMS, M. P., ATCHISON, J. M., BELL-JAMES, J., BRYAN, B. A., CHU, L., et al. Operationalizing marketable blue carbon. *One Earth*, v. 5, 485, 2022.

MAHER, D. T., SIPPO, J. Z., TAIT, D. R., HOLLOWAY, C., SANTOS, I. R. Pristine mangrove creek waters are a sink of nitrous oxide. *Scientific Reports*, v. 6, 25701, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep25701>

MASSE, K., SUASSUNA, F., MOTTA E SOUZA, M., MUZZI, M., SCELZA, G. C., SANTOS, M. E. N., COELHO-JR, C., PAIVA, L. M., RÊGO, P. R. M., OLINTO, A., PINHEIRO, B. R. Experiências Exitosas de Formação Socioambiental na Zona Costeira dos estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Em: *Da implantação ao monitoramento do Projeto Político Pedagógico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Organização: RAYMUNDO, M., H. A., TROVARELLI, R. A., BRANCO, E. A., BRIANEZI, T. São José dos Campos: INPE; ANPPAS, pp. 133-144, 2024.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 2005.

MURDYIARSO, D., SWALLS, E., HERGOUALC'H, K., BHOMIA, R., SASMITO, S.D. Refining greenhouse gas emission factors for Indonesian peatlands and mangroves to meet ambitious climate targets. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 2024.

NELLEMANN, C., CORCORAN, E., DUARTE, C.M., VALDRÉS, L., YOUNG, C. D., FONSECA, L., GRIMSDITCH, G. *Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon*. UN Environment, GRID-Arendal, 2009.

NERES J. N., STENZEL G. M. R., MIELKE, M. S., BARROS F. Mangrove forest health condition from space and the use of in situ data. *Marine Environmental Research*, v. 201: 106704, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106704>

NÓBREGA, G. N. N., OTERO, X. L. L., MACÍAS, F., FERREIRA, T. O. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. *Environmental Monitoring Assessment*. v. 186, pp. 5749-5762., 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3817-3>

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, pp. 685–693, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.108>

NÓBREGA, G. N., FERREIRA, T. O., SIQUEIRA NETO, M., MENDONÇA, E. DE S., ROMERO, R.E., OTERO, X. L. The importance of blue carbon soil stocks in tropical semiarid mangroves: a case study in Northeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 78, p. 369, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8368-z>

OGDEN, J. C. Ecosystem interactions in the tropical coastal seascape. In: Birkeland C, Ed. *Life and Death of Coral Reefs*. New York: Chapman & Hall, 1997.

OTERO, X. L., MÉNDEZ, A., NÓBREGA, G. N., FERREIRA, T. O., SANTISO-TABOADA, M. J., MELÉNDEZ, W., MACÍAS, F. High fragility of the soil organic C pools in mangrove forests. *Marine Pollution Bulletin*, v. 119, p. 460–464, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.074>

OTERO, X. L., ARAÚJO, J. M. C., BARCELLOS, D., QUEIROZ, H. M., ROMERO, D. J., NÓBREGA, G. N., SIQUEIRA NETO, M., FERREIRA, T. O. Crab Bioturbation and Seasonality Control Nitrous Oxide Emissions in Semiarid Mangrove Forests (Ceará, Brazil). *Applied Sciences*, v. 10, 2215, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072215>

OVALLE, A. R. C., REZENDE, C. E., LACERDA, L. D & SILVA, C. A. R. Factors affecting the hydrochemistry of a mangrove tidal creek in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, v. 31, pp. 639–650, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(90\)90017-L](https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90017-L)

OWUOR, M., SANTOS, T. M. T., OTIENO, P., MAZZUCO, A. C. A., IHEATURU, C., BERNARDINO, A.F. Flow of mangrove ecosystem services to coastal communities in the Brazilian Amazon. *Front. Environ. Sci.* v. 12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1329006>

PAGLIOSA, P. R., ROVAI, A. S., FONSECA, A. L. Carbon mismanagement in Brazil. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 11, p. 764, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1718>

PAGLIOSA, P., ZANETTI, A., FONSECA, A. L. Os manguezais e o carbono azul. In D. DE CASTRO & L. H. F. PIMENTA (Eds.): *Os mangues do sul do Brasil*. Via Sapiens, 2024.

PASSOS, T., BERNARDINO, A. F., PENNY, D., BARCELLOS, R., PASSOS, F. U., NOBREGA, G. N., FERREIRA, T. O., KAUFFMAN, J. B., SANDERS, C. J. Low carbon accumulation in a macro-tidal

mangrove forest on the Amazon coast. *Limnology and Oceanography*, v. 68, pp. 1936–1948, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12396>.

POLETTE, M. Legislation. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (Edit.): *Mangrove Ecosystems: Between Land and Sea*. Caribbean Ecological Research, 1995.

PROJETO MAPBIOMAS – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Zona Costeira – Coleção 7, 2022.

QUEIROZ, H. M., ARTUR, A. G., TANIGUCHI, C. A. K., SILVEIRA, M. R. S. DA, NASCIMENTO, J. C. DO, NÓBREGA, G. N., OTERO, X. L., FERREIRA, T. O. Hidden contribution of shrimp farming effluents to greenhouse gas emissions from mangrove soils. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, v. 221, pp. 8–14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.011>

QUEIROZ, H. M., FERREIRA, T. O., FANDIÑO, V. A., BRAGANTINI, I. O. B. F., BARCELLOS, D., NÓBREGA, G. N., FERREIRA, A. D., GOMES, L. E. O., BERNARDINO, A. F. Changes in soil iron biogeochemistry in response to mangrove dieback. *Biogeochemistry* v. 158, pp. 357–372, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-022-00903-1>

RAYMUNDO, M. H. A., TROVARELLI, R. A., BRANCO, E. A., BRIANEZI, T. (Org): *Da implementação ao monitoramento do Projeto Político Pedagógico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. São José dos Campos: INPE; ANPPEA – 2024.

REIS-FILHO, J. A., GIARRIZZO, T. & BARROS, F. Tidal migration and cross-habitat movements of fish assemblage within a mangrove ecotone. *Marine Biology*, v. 163, 111, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2885-z>

REITHMAIER, G. M. S., CABRAL, A., AKHAND, A., BOGARD, M. J., BORGES, A. V., BOUILLON, S., BURDIGE, D. J., CALL, M., CHEN, N., CHEN, X., COTOVICZ, L. C., EAGLE, M. J., KRISTENSEN, E., KROEGER, K. D., LU, Z., MAHER, D. T., PÉREZ-LLORENS, J. L., RAY, R., TAILLARDAT, P., SANTOS, I. R. Carbonate chemistry and carbon sequestration driven by inorganic carbon outwelling from mangroves and saltmarshes. *Nature Communications*, v. 14, n. 1, 8196, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44037-w>

RICO, A., REDONDO-HASSELERHARM, P. E., SCHELL, T., SANDERS, C. J. BERNARDINO, A. F. Microplastic burial potential and ecological risks in mangrove forests of the Amazon River delta. *Science of the Total Environment*, v. 957, 177666, 2024.

- ROSARIO, R. P. G., E ABUCHAHLA, G. M. O. Arcabouço legal de proteção aos manguezais. In: Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.
- ROSENTERER, J. A., MAHER, D. T., ERLER, D. V., MURRAY, R. H., EYRE, B. D. Methane emissions partially offset “blue carbon” burial in mangroves. *Science Advances*, v. 4, eaao4985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao4985>
- ROVAL, A. S., TWILLEY, R. R., CASTAÑEDA-MOYA, E. et al. Global controls on carbon storage in mangrove soils. *Nature Clim Change*, v. 8, pp. 534–538, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0162-5>
- ROVAL, A. S., COELHO-JR, C., ALMEIDA, R., CUNHA-LIGNON, M., MENGHINI, R. P., TWILLEY, R. R., CINTRON-MOLERO, G., SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoonal estuarine system, SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 479, 118553, 2021.
- ROVAL, A. S., TWILLEY, R. R., WORTHINGTON, T. A., RIUL, P. Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 4, 787533, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.787533>.
- RUIZ, F., BERNARDINO, A. F., QUEIROZ, H. M., OTERO, X. L., RUMPEL, C., FERREIRA, T. O. Iron's role in soil organic carbono (de)stabilization in mangroves under land use change. *Nature Communications*, v. 15, 10433, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54447-z>
- RUIZ-JAEN, M. C., AND AIDE, T. M. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology*, v. 13, pp. 569–577, 2005.
- SANDERS, C. J., SMOAK, J. M., SANDERS, L. M., NAIDU, A. S., PATCHINEELAM, S. R. Organic carbon accumulation in Brazilian mangal sediments. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 30, pp. 189–192, 2010.
- SANTANA FILHO, D. M., FERREIRA, A. J., GOES, E. F., CAMPOS, A. C. P. Nota Técnica 1: Governança de Desastres, Trade-off e Adaptação Norte e Nordeste do Brasil. Editora Iyaleta. Iyaleta – Pesquisa, Ciências e Humanidade, 2023.
- SANTOS-ANDRADE, M., HATJE, V., ARIAS-ORTIZ, A., PATIRE, V. F., DA SILVA, L. A. Human disturbance drives loss of soil organic matter and changes its stability and sources in mangroves. *Environmental Research*, v. 202, 111663, 2021.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRÓN-MOLERO, G., ADAIME, R. R., DE CAMARGO, T. M., CINTRON-MOLERO, G., DE CAMARGO, T. M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v. 13, pp. 204–218, 1990. DOI: <https://doi.org/10.2307/1351590>.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., SORIANO-SIERRA, E. J., VALE, C. C., BERNINI, E., ROVAL, A. E., PINHEIRO, M. A. A., SCHMIDT, A. J., ALMEIDA, R., COELHO JR, C. C., MENGHINI, R. P., MARTINEZ, D. I., ABUCHALA, G. M. O., CUNHA-LIGNON, M., CHARLIER-SARUBO, S., SHIRAZAWA-FREITAS, J., CINTRON-MOLERO, G. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, pp. 37–52, 2016.
- SERVINO, R. N., GOMES, L. E. O., BERNARDINO, A. F. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in Eastern Brazil. *Science of the Total Environment*, 628–629, pp. 233–240, 2018.
- SPALDING, M., PARRETT, C. L. Global patterns in mangrove recreation and tourism. *Marine Policy*, v. 111, 103540, 2019.
- SUÁREZ-ABELENDIA, M., FERREIRA, T. O., CAMPS-ARBESTAIN, M., RIVERA-MONROY, V. H., MACÍAS, F., NÓBREGA, G. N., OTERO, X. L. The effect of nutrient-rich effluents from shrimp farming on mangrove soil carbon storage and geochemistry under semi-arid climate conditions in northern Brazil. *Geoderma*, v. 213, pp. 551–559, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.007>
- YAU, Y. Y. Y., CABRAL, A., REITHMAIER, G., COTOVICZ, L. C., JR, BARREIRA, J., ABRIL, G., MORANA, C., BORGES, A. V., MACHADO, W., GODOY, J. M., BONAGLIA, S., SANTOS, I. R. Efficient oxidation attenuates porewater-derived methane fluxes in mangrove waters. *Limnology and Oceanography*, v. 69, pp. 1997–2014, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12639>
- VANDERKLIFT, M. A., MARCOS-MARTINEZ, R., BUTLER, J. R. A., COLEMAN, M., LAWRENCE, A., PRISLAN, H., STEVEN, A. D. L., AND THOMAS, S. Constraints and opportunities for market-based finance for the restoration and protection of blue carbon ecosystems. *Marine Policy*, v. 107: 103429, 2019.
- VANIN, G. T., LACERDA, E. R., MORI, G. M. Drivers of mangrove area change and suppression in Brazil from 2000 to 2020. *Conservation Biology*, e14426, 2024.

WARD, R. D., LACERDA, L. D., CERQUEIRA, A. C., HUGO, V., HERNANDEZ, O. C. Impacts of sea level rise on mangroves in northeast Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 108382, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108382>

WOODROFFE, C. D., ROGERS, K., MCKEE, K., LOVELOCK, C. E., MENDELSSOHN, I. A., SAINTILAN, N. Mangrove sedimentation and response to relative sea level rise. *Annual Review of Marine Science*, v. 8, pp. 243-266, 2016.

WORTHINGTON, T. A., ZU ERMGASSEN, P. S. E., FRIESS, D. A. et al. A global biophysical typology of mangroves and its relevance for ecosystem structure and deforestation. *Scientific Reports*, v. 10, 14652, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71194-5>

WYLIE, L., SUTTON-GRIER, A. E., MOORE, A. Keys to successful blue carbon projects: lessons learned from global case studies. *Marine Policy*, v. 65, pp. 76-84, 2016.

UNSWORTH, R. K. F., DE LEON, P. S., GARRARD, S. L., et al. High connectivity of Indo-Pacific seagrass fish assemblages with mangrove and coral reef habitats. *Marine Ecology Progress Series*, v. 353, 213-224, 2008.

ZENG, Y., FRIESS, D.A., SARIRA, T. V., SIMAN, K., KOH, L. P. Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology*, v. 31, pp. 1-7, 2021.

ZU ERMGASSEN, P. S. E., MUKHERJEE, N., WORTHINGTON, T. A., ACOSTA, A., ARAUJO, A. R. R., BEITL, C. M., CASTELLANOS-GALINDO, G. A., CUNHA-LIGNON, M., DAHDOUNH-GUEBAS, F., DIELE, K., PARRETT, C. L., DWYER, P. G., GAIR, J. R., JOHNSON, A. F., KUGURU, B., LOBO, A. S., et al. Fishers who rely on mangroves: modelling and mapping the global intensity of mangrove-associated fisheries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 248, 107159, 2021.



A complexidade dos efeitos das mudanças ambientais e climáticas globais, incluindo suas projeções futuras, demanda abordagens inter e transdisciplinares. Essas abordagens são essenciais para compreender as interações entre os sistemas sociais, biofísicos e ecológicos, caracterizando os riscos de impacto, a vulnerabilidade, as possibilidades de mitigação de suas causas, e as soluções de adaptação. O Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas – SIMACLIM tem como principal missão integrar pesquisas acumuladas e em curso de várias redes e grupos de pesquisa nacionais e internacionais, organizando informações e auxiliando no planejamento do Estado brasileiro para alcançar metas estabelecidas em acordos sobre Mudanças Climáticas. O SIMACLIM está sendo financiado pelo MCTI através do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT, Processo FINEP 01.22.0584.00.

<https://simacлим.com.br/>

@simacлим

Coordenação Geral:

Moacyr Cunha de Araujo Filho

Conselho Consultivo:

Aloísio Lopes de Melo (MMA)

Ana Paula Leite Prates (MMA)

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (Rede Clima)

Lilium Beatris Chagas de Moura (MRE)

Márcio Rojas da Cruz (MCTI)

Moacyr Cunha de Araujo Filho (Rede Clima)

Oswaldo Luiz Leal de Moraes (MCTI)

Pedro Ivo Ferraz da Silva (MRE)

Gestão Administrativa:

Leonardo Bruto Vieira da Costa

Secretaria Executiva:

Claudia von Sohsten Cavalcanti

Érica Menero

Izabelle Lima Cabral

Assessoria de Comunicação:

Pedro Zanforlin Marcondes de Carvalho

REALIZAÇÃO:



SIMACLIM

Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas

APOIO:



Rede Clima
Mudanças Climáticas
Globais no Brasil



Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



UFPE



Finep
INOVAÇÃO E PESQUISA

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



GOVERNO FEDERAL

UNIÃO E RECONSTRUÇÃO