

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de **31/03/2025**.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



**Variação espaço-temporal de áreas ocupadas por manguezal e diferentes
usos e coberturas da terra no Brasil entre 2000 e 2020**

GABRIEL TOFANELO VANIN

SÃO VICENTE - SP

2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS
CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

Estimativa da variação espaço-temporal de áreas ocupadas por
manguezal e diferentes usos e coberturas da terra no Brasil entre
2000 e 2020

Candidato: GABRIEL TOFANELO VANIN

Orientador: GUSTAVO MARUYAMA MORI

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,
Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, para obtenção do
título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

SÃO VICENTE - SP

2023

V258e

Vanin, Gabriel Tofanelo

Estimativa da variação espaço-temporal de áreas ocupadas por manguezal e diferentes usos e coberturas da terra no Brasil entre 2000 e 2020 / Gabriel Tofanelo Vanin. -- São Vicente, 2023

51 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientador: Gustavo Maruyama Mori

1. Sistemas de informação geográfica. 2. MapBiomas. 3. Google Earth Engine. 4. Land Use/Land Cover. 5. Série temporal. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Agradecimentos

Quero começar agradecendo as duas pessoas que contribuíram imensuravelmente ao meu desenvolvimento científico, Marianne Azevedo-Silva e Gustavo Maruyama Mori. Marianne por ter sido tão gentil e disposta a nos ajudar tirar do papel o que se tornaria um artigo lindo, e Gustavo por tudo, pela paciência, amizade, conselhos, didática, profissionalismo, atenção, cuidado, enfim, simplesmente por tudo. Sei que minha trajetória na academia até hoje valeu a pena quando penso nas pessoas que pude conhecer e que tomo como referência.

Agradeço imensamente o Eduardo Ribeiro Lacerda pelas contribuições riquíssimas nas análises e apoio desde o início do projeto. Sem dúvidas, sem a sua ajuda este trabalho não teria sido feito no tempo proposto. Obrigado pela confiança e por se mostrar uma pessoa simpática e gentil.

Também quero agradecer ao Laboratório de Ecologia Molecular, onde por cinco anos eu fugi de análises moleculares. A todos os membros que fomentaram debates importantes, as mais variadas contribuições acadêmicas, risadas sinceras e um sentimento de pertencimento tão necessário. Muito obrigado!

Agradeço as mulheres da minha família, minha mãe, Maria de Fátima, minhas irmãs, Fernanda e Beatriz, e a minha querida tia, Maristela, por terem me apoiado e proporcionarem dentro de suas lutas e privilégios o suporte para que eu pudesse seguir este caminho. A distância fez com que eu perdesse momentos únicos, agradeço imensamente a compreensão de vocês.

Quero agradecer a tantas pessoas importantes que pude conhecer na primeira cidade do Brasil, mas em especial ao Loireal, sem você eu provavelmente seria mais chato, obrigado pelas incontáveis ajudas nos mais variados programas, pelas conversas fruto de muita imaginação e por tornar Pokémon muito mais legal. A Tamiris Iris, é claro, uma mulher fenomenal, sem precedentes, artista, rainha do sangue e do cocô, não poderia ter companhia melhor no trabalho e nesse período. E principalmente ao Maikow, um ser de luz. O que seria apenas compartilhar uma casa no final da graduação, se tornou compartilhar a vida durante uma pandemia, trabalhos duvidosos e um mestrado. Com certeza, você tornou tudo isso mais leve, te amo meu irmão.

Um agradecimento mais que especial ao ser que me acompanhou desde o início, que acordou e dormiu junto comigo nesses sete anos (e espero que continue por mais sete), Chewbie. Não sabe o

quanto você se tornou importante e essencial na minha vida, o tanto que você já me viu chorar não tá escrito. E mesmo hoje, se anima com a palavra “passear” como se ainda estivéssemos em 2016. Eu definitivamente não te dei nem metade do que você merece. Obrigado filha!

Agradeço aos professores do Instituto de Biociências de São Vicente, que em diversos momentos foram fundamentais para eu reafirmar minha escolha, principalmente a Milene e o Fábio, tão queridos. Também agradeço aos profissionais que compuseram a banca de qualificação, Arimatéia. C. Ximenes, Paula. M. M. Almeida e defesa, Sandra M. F. da Costa e Vinicius Seabra pelos comentários e sugestões valiosas que enriqueceram este trabalho e também pela simpatia de todos.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram nesta conquista. Vieram de muitos as muitas contribuições, principalmente pessoais, obrigado gente, vocês são incríveis e espero que saibam disso. Aguardem as reclamações do doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

Os manguezais são ecossistemas fundamentais do ponto de vista social, econômico e ambiental. O Brasil é um dos países com maior extensão de manguezal do mundo, porém diferentes trabalhos têm mostrado que forçantes antrópicas e naturais têm suprimido áreas ocupadas por este ecossistema, ainda que em pequenas escalas geográficas. Esta pesquisa teve como objetivo estimar a variação espaço-temporal de manguezais no Brasil e diferentes usos e coberturas da terra (*Land use and land cover* – LULC) em diferentes escalas espaciais nas últimas duas décadas (2000-2020). Para isso, utilizamos dados dos projetos MapBiomas e *Global Forest Change* dentro da plataforma *Google Earth Engine*. Quantificamos o balanço de área de manguezal em escalas nacional, estadual e regiões (segmentos) climática-botanicamente semelhantes. Séries temporais de 20 anos foram construídas e decompostas. O banco de dados do *Global Forest Change* não apresentou um desempenho satisfatório na detecção de manguezais suprimidos no Brasil, quando comparado com dados previamente publicados. A partir dos dados do projeto MapBiomas, observamos que entre 2000 e 2020, o Brasil teve ganho líquido de 3982,51 km² de áreas ocupadas por manguezal. No mesmo período, 4143,43 km² de área de manguezal foi suprida, sendo que ~92% desta área pôde ser identificada com ao menos alguma das 17 LULC consideradas, as quais contribuíram diferentemente entre os estados políticos e regiões fitofisionomicamente semelhantes. As maiores conversões de manguezal ocorreram por classes de LULC não explicitamente atreladas as atividades humanas, destacando-se formação florestal e corpos d'água. Embora, comparativamente, as áreas de manguezais substituídas por classes antrópicas foram muito menores, sua identificação possibilita direcionar esforços para reduzir impactos de forçantes específicas por meio de políticas públicas e programas que lidem com uma ou pouca LULC, como pastagens, que substituiu 80,34 km² de área de manguezal preexistente. Nossos resultados corroboram evidências em escala global e no Brasil de que manguezais têm apresentado ganho líquido de área e reforçam que fatores naturais como os principais percussores de perda de manguezal. Abordagens mutli-escala como a utilizada neste estudo contribuem à gestão integrada dos manguezais, promovendo compreensão de temas que ultrapassam limites políticos. Este trabalho lança novos direcionamentos aos esforços de pesquisa, conservação e monitoramento em diferentes regiões geográficas do Brasil. Incentivamos o uso das ferramentas e dados disponibilizados neste trabalho por diferentes instituições e tomadores de decisão para ações de conservação, proteção e restauração dos manguezais brasileiros e ecossistemas adjacentes.

Abstract

Mangroves are key ecosystems from social, economic, and environmental perspectives. Brazil is one of the countries with largest extension of mangroves in the world, but different studies have shown that anthropic and natural force have reduced the area occupied by this ecosystem. This research aimed to identify the temporal variation of mangroves in Brazil and different land use and land covers (LULC) at different spatial scales in the last two decades (2000-2020). We used datasets from two independent sources, MapBiomass and Global Forest Change, within Google Earth Engine platform. We quantified the mangrove area net change at national, state, and climatic-botanical regional scales (vegetation physiognomy segments). 20-year time series were constructed and decomposed. Data we obtained from Global Forest Change performed poorly in detecting suppressed Brazilian mangroves, when compared to previously published studies. Using MapBiomass data, we observed that between 2000 and 2020, Brazil had a net gain of 3982.51 km² occupied by mangrove wetlands. In the same period, 4143.43 km² of mangrove area was a suppressed, out of which ~92% could be assigned to at least some of the 17 LULC we evaluated. The major LULC classes that replaced mangrove forests were not directly associated with human activities, like forests and water bodies. Although, comparatively anthropogenic LULCs contributed less to mangrove conversion, identifying these such drivers may contribute to mangrove management and conservation as it policies and programs may tackle specific activities, like pastures which was associated with 80,34 km² of mangrove replacement. Our findings support previous studies on global and Brazil scales, as they indicate a net gain of mangroves forest and highlight that natural drivers are major LULC replacing these ecosystems. Multi-scale approaches like this study have the potential to reveal different processes, thus similar efforts are recommended for the integrated management of mangroves, promoting the understanding of issues that go beyond political boundaries. This work strengthens a global trend towards lower rates of loss of area covered with mangroves and launches new directions for research, conservation and monitoring efforts in different geographic regions of Brazil. We encourage of the tools and data made available here the use by different institutions and decision makers for conservation, protection and restoration of Brazilian mangroves and adjacent ecosystems.

Sumário

Agradecimentos.....	04
Resumo.....	06
Abstract.....	07
Sumário.....	08
Introdução.....	09
Objetivos.....	12
Materiais e Métodos.....	12
Unidades espaciais de análise.....	12
Google Earth Engine.....	15
Base de dados.....	16
Taxas de perda e de ganho.....	17
Séries temporais.....	20
Resultados.....	22
Taxas de perda e de ganho.....	22
Séries temporais.....	29
Discussão.....	33
Conclusão.....	40
Referências.....	41

Introdução

Manguezais são ecossistemas que ocorrem na interface terra-mar nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, principalmente entre latitudes de 30° N e 30° S (Duke et al. 2007; Giri et al. 2011; Fazlioglu et al. 2020). As estimativas recentes da área global ocupada por manguezais giram em torno de 137 mil km² (Bunting et al. 2018; Worthington & Spalding 2018), pertencendo aproximadamente 40% à Ásia, 20% à África, 15% à América do Norte e Central, 12% à Oceania e 11% à América do Sul (Giri et al. 2011). Globalmente, as florestas de mangue são formadas por pouco mais de 70 espécies de plantas que convergiram independentemente ao longo de 40 milhões de anos, apresentando adaptações que as permitem desenvolver em ambientes intertidais, que podem apresentar, por exemplo, altas salinidades, variabilidade das marés e solos anaeróbicos. (He et al. 2022; Ricklefs & Latham 1993; Ricklefs et al. 2016).

A complexidade dessas florestas ao longo de um gradiente terrestre-costeiro permite que uma rica diversidade de organismos, de microrganismos até grandes vertebrados, as utilizem como habitat, beneficiando dos nutrientes disponíveis (Alongi 2021) e das áreas para reprodução e desova (Primavera 1998; Rog et al. 2017). Além do suporte a flora e fauna, os manguezais também fornecem proteção costeira contra erosão (Sánchez-Núñez et al. 2019), tempestades (Das & Crépin 2013) e tsunamis (Alongi 2008). Consequentemente, as comunidades locais e populações urbanas próximas à costa se beneficiam desses e outros bens e serviços prestados, como provimento de lenha, medicamentos e tradições culturais ligadas aos manguezais (Walters et al. 2008; Barbier et al. 2011; Miraldo 2015; Kusmana & Sukristijiono 2016). Além disso, os manguezais possuem a capacidade de sequestrar e estocar substancialmente mais carbono que outros biomas terrestres (Donato et al. 2011; McLeod et al. 2011; Alongi 2012). No planeta, a quantidade de CO₂ retido na biomassa e principalmente no solo pelos manguezais é estimada entre 2,6 e 10,8 Pg (Atwood et al. 2017; Boone & Bhomia 2017; Sanderman et al. 2018). Os estoques de carbono fixados por ecossistemas marinhos e costeiros, como manguezais, marismas, fitoplânctons e macroalgas são reconhecidos como Carbono Azul (Tang et al. 2018). Esta particularidade destaca os manguezais não apenas por sua importância ambiental, enquanto potencial mitigador das mudanças climáticas (McLeod et al. 2011), mas também econômica, ao considerarmos o seu uso em iniciativas como REDD+ e Carbono Azul (i.e. US\$30,50 ha-1/ano1) (Barbier et al. 2011).

Embora existam diversos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos manguezais, o registro histórico ao longo dos últimos 70 anos tem mostrado a área coberta com esse ecossistema reduzir-se a uma taxa anual de aproximadamente 0,4% (Valiela et al. 2001; Miththapala, 2008; Friess et al. 2019). Somente em uma década (1980-1990), uma das maiores e mais ricas florestas de mangue do

mundo, localizadas na Ásia, perderam um terço de sua extensão por desmatamento (Giri et al. 2011). Globalmente, estima-se que, desde 1980, de 20 a 35% da área total de manguezais teriam sido fortemente impactadas (Valiela et al. 2001). Atualmente, apesar das menores taxas de perda (<1% ao ano) em comparação às estimadas anteriormente (2-8% ao ano) (Valiela et al. 2001; Miththapala 2008; Friess et al. 2019), 16% das espécies de mangue encontram-se ameaçadas de extinção, refletindo até 40% da diversidade de mangue em algumas regiões (Polidoro et al. 2010).

Essas mudanças do uso e cobertura da terra (LULCC, do inglês, *Land Use And Land Cover Change*) resultam de ações antrópicas e de processos e eventos naturais, os quais podem causar efeitos severos na biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Santos et al. 2021). As LULCCs que resultam das atividades humanas como desflorestamento e urbanização são uma das principais ameaças atuais às espécies (IPBES 2019). Em especial, para o ecossistema de manguezal, os impactos decorrentes das mudanças do uso da terra, como degradação e desmatamento, provenientes da conversão de áreas de mangue em diferentes monocultivos e infraestruturas urbanas, alteram a característica dos manguezais de sumidouro de carbono para potenciais emissores do carbono estocado. Além disso, algumas evidências mostram uma redução substancial dos estoques de carbono da biomassa ($82\% \pm 35\%$) e do solo ($54\% \pm 13\%$) devido as LULCC (Sasmito et al. 2019), com estimativas de perda global dos estoques de carbono de 1,8%, uma diminuição de 158,4 Mt de 1996 a 2016 (Richards et al. 2020).

Entre 2000 e 2016, as atividades humanas representaram 62% das principais causas de perda de manguezais, divididas em produção de *commodities* (47%), conversões não produtivas (12%) e assentamentos humanos (3%). Os 38% restantes foram atribuídos a causas naturais, dentre as quais erosão se destaca com 27% (Goldberg et al. 2020). A natureza das LULCC vinculados à perda de manguezais são diversas e estão distribuídas diferentemente pelo mundo. Por exemplo, enquanto lagoas de aquicultura e cultivos de arroz e dendê são as principais classes de LULC associadas à supressão de manguezais no Sudeste Asiático (Goldberg et al. 2020; Richards & Friess 2016), na América do Norte, detectou-se principalmente erosão e eventos climáticos extremos (Goldberg et al. 2020). Estes achados são chave para o direcionamento de políticas socioambientais eficientes.

Levantamentos em grande escala de dados em áreas de difícil acesso, como o manguezal, ambiente frequentemente alagado (Giri et al. 2011; Schaeffer-Novelli et al. 1990) podem ser desafiadores. Tendo isso em vista, informações espaço-temporais sobre os status das florestas de mangue e as alterações em área e estrutura causadas por LULCC (incluindo as consequências nos estoques de carbono) em amplas áreas e em diferentes localidades são possíveis de serem obtidas em tempo hábil e com recursos limitados através do processamento de imagens obtidas por sensores remotos (Kuenzer et al. 2011). Devido à importância ecológica e socioeconômica dos manguezais e

a sua vulnerabilidade às ameaças, diversos trabalhos propuseram avaliar os impactos das LULCC sobre esse ecossistema utilizando diferentes sensores remotos nas últimas décadas (Sasmito et al. 2019; Goldberg et al. 2020; Richards & Friess 2016; Kuenzer et al. 2011), inclusive com foco no Brasil (Diniz et al. 2019).

O Brasil é um dos países com maior extensão de manguezal do mundo (aproximadamente 10 mil km² entre latitudes de 4°30'N a 28°30'S), retendo cerca de 10% da área global (Giri et al. 2011; Spalding et al. 2010). As florestas de mangue estão distribuídas ao longo de toda costa brasileira (exceção ao litoral do Estado do Rio Grande do Sul), próximas de áreas extremamente urbanizadas e de atividades de exploração de petróleo e gás. Três gêneros de árvores de mangue ocorrem no Brasil, abrangendo seis espécies, *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. X. harrisonii*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans* e *Laguncularia racemosa* (Schaeffer-Novelli et al. 1990). Além dessas, outras espécies ocorrem associadas aos manguezais brasileiros, como *Conocarpus erectus*, *Hibiscus tiliaceus* e *Acrostichum aureum* (Schaeffer-Novelli et al. 1990; ICMBio 2018). Apesar da baixa diversidade florística comparada a região do Indo-Pacífico (Ricklefs & Latham 1993), no Brasil, os manguezais diferenciam-se na sua forma de crescimento, no padrão de distribuição de espécies e estrutura do povoamento. Essas variações dividem os manguezais brasileiros em oito unidades fisiográfica e climaticamente similares (Schaeffer-Novelli et al. 1990). A geomorfologia associada às energias fluviais, das marés e das ondas, determina a variabilidade e dominância das espécies em cada região. Adicionalmente, clima e propriedades edáficas são fatores condicionante à colonização das distintas espécies de mangues. De modo geral, as florestas de mangue mais robustas ocorrem em setores com alta pluviometria sobre a evapotranspiração e presença de macromarés (com exceção da foz do rio Amazonas). Esta especificidade ocorre entre as regiões norte e nordeste do país, região com o maior cinturão contínuo de manguezais do mundo (Nascimento et al. 2013). Devido a variabilidade estrutural dos mangues e significativa área ocupada por manguezais, o Brasil é considerado um *hotspot* de Carbono Azul (Hatje et al. 2021). Essas características junto às taxas crescentes de urbanização em áreas costeiras (Branoff 2018) ressaltam a importância de monitoramentos contínuos dos manguezais no Brasil.

Nas últimas décadas, diversos trabalhos contribuíram para a compreensão espaço-temporal das áreas ocupadas por manguezal no Brasil. De maneira geral, a área total ocupada por este ecossistema parece crescer. Entre 2000 e 2010, um balanço entre supressão e colonização de áreas de manguezal registrou ganho de área de aproximadamente 100 km² (Aide et al. 2013). Em uma janela de tempo maior (1985-2018), estimou-se um ganho líquido de aproximadamente 200 km² (Diniz et al. 2019). Embora estes resultados sejam otimistas, estudos realizados em diferentes locais e escalas geográficas evidenciaram alterações de áreas de manguezal por aquicultura (Ferreira & Lacerda 2016;

Guimarães et al. 2010; Queiroz et al. 2013), moradias (Moschetto et al. 2021), derramamento de óleo (Santos et al. 2012), dinâmica natural e sedimentação (Nascimento et al. 2013). Apesar da relevância desses esforços para compreensão das causas de supressão de manguezais no Brasil e consequentemente direcionamentos de políticas de conservação, os estudos comumente restringem-se a pequenas áreas geográficas em um país de tamanho continental. Até o momento, segundo nosso melhor esforço, nenhum estudo analisou de maneira qualitativa e quantitativa diferentes fatores de conversão direta de manguezais brasileiros em diferentes escalas, incluindo toda costa nacional, as quais permanecem pouco esclarecidas ou frequentemente generalizadas como causas naturais e antrópicas (Diniz et al. 2019). Diante da importância ambiental e socioeconômica e da perda de manguezais registrada no Brasil e no mundo ao longo das últimas décadas, este trabalho tem como objetivos:

- **Identificar e quantificar as áreas em que o manguezal foi suprimido, bem como novas áreas colonizadas por este ecossistema em diferentes unidades espaciais.**
- **Identificar e quantificar as conversões diretas de manguezal por diferentes LULC que ocorreram em áreas de supressão identificadas.**
- **Analisar a variação das áreas ocupadas por manguezal ao longo do tempo utilizando séries temporais e seus componentes individuais.**

Este trabalho concentrou-se em variações espaço-temporais de 2000 a 2020, visto que LULCC anuais ao longo de duas décadas abrangem possíveis tendências recentes e são informações fornecidas por sensores mais sofisticados a bordo de satélites mais modernos com maior frequência de imagens e resolução mais fina.

Conclusão

Nossas descobertas sugerem que, aparentemente, a ideia de declínio e desaparecimento de manguezais em algumas décadas (Duke et al. 2007) é menos preocupante no Brasil. Ao contrário, o aumento do ganho e diminuição das perdas de áreas ocupadas por manguezais ao longo dos 20 anos analisados reforçam uma perspectiva identificada em escala global (Hagger et al. 2022) e nacional (Diniz et al. 2019). A metodologia aplicada neste trabalho possibilitou a análise rápida de um país de tamanho continental, utilizando classificações de pixel, diferente de outros trabalhos que classificaram o manguezal brasileiro baseado em objeto. Conversões anuais de manguezais para classes não necessariamente relacionadas a atividades humanas são as principais mudanças observadas nos últimos 20 anos. Esta dinâmica gera sucessões naturais por diferentes sistemas próximos aos manguezais (Meireles et al. 2007), processo que deve ser monitorado por diferentes abordagens para além de fotografias de recortes temporais. Identificamos pastagens como o principal uso da terra que ocupou áreas de manguezal, superando as áreas de aquicultura, agricultura e urbanização, destacando uma particularidade do caso brasileiro em relação ao cenário global de substituição de manguezais. Diferentes entidades internacionais orientam múltiplas diretrizes para gestão integrada de manguezais, incluindo estudos que auxiliem o monitoramento dos status dos manguezais fornecendo informações úteis de gerenciamento (Carter et al. 2015). Acreditamos que este trabalho caminha para essa direção, ao contribuir com informações fundamentais para manejo e políticas de conservação dos manguezais brasileiros em distintos compartimentos (limites políticos, climáticos, geomorfológicos e botânicos). Incentivamos o uso dos resultados aqui obtidos para novos horizontes de estudo e da ferramenta disponibilizada aos tomadores de decisão para gestão integrada dos ecossistemas costeiros, em especial o manguezal.

Referências

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. “Produção Da Pecuária Municipal 2021” 49 (01014234): 1–12. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=784>.
- Ahmed, Nesar, and Marion Glaser. 2016. “Coastal Aquaculture, Mangrove Deforestation and Blue Carbon Emissions: Is REDD+ a Solution?” *Marine Policy* 66: 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.011>.
- Aide, T. Mitchell, Matthew L. Clark, H. Ricardo Grau, David López-Carr, Marc A. Levy, Daniel Redo, Martha Bonilla-Moheno, George Riner, María J. Andrade-Núñez, and María Muñiz. 2013.

“Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010).” *Biotropica* 45 (2): 262–71. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>.

Albuquerque, G. B. M., T. O. Ferreira, R. L. Cabral, G. N. Nóbrega, R. E. Romero, A. J. A. Meireles, and X. L. Otero. 2014. “Hypersaline Tidal Flats (Apicum Ecosystems): The Weak Link in the Tropical Wetlands Chain.” *Environmental Reviews* 22 (2): 99–109. www.nrcresearchpress.com.

Alongi, Daniel M. 2002. “Present State and Future of the World’s Mangrove Forests.” *Environmental Conservation* 29 (3): 331–349. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>.

———. 2008. “Mangrove Forests: Resilience, Protection from Tsunamis, and Responses to Global Climate Change.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>.

———. 2012. “Carbon Sequestration in Mangrove Forests.” *Carbon Management* 3 (3): 313–22. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.

———. 2021. “Macro-and Micronutrient Cycling and Crucial Linkages to Geochemical Processes in Mangrove Ecosystems.” *Journal of Marine Science and Engineering* 9 (5): 456. <https://doi.org/10.3390/jmse9050456>.

Anthony, Edward J., Antoine Gardel, Nicolas Gratiot, Christophe Proisy, Mead A. Allison, Franck Dolique, and François Fromard. 2010. “The Amazon-Influenced Muddy Coast of South America: A Review of Mud-Bank-Shoreline Interactions.” *Earth-Science Reviews* 103 (3–4): 99–121. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.008>.

Miraldo, Marcel Câmara. 2015. “Análise de Sustentabilidade Ambiental de um Cultivo de Ostras em um Estuário Tropical.” *Centro de Aquicultura da Unesp*.

Atwood, Trisha B., Rod M. Connolly, Hanan Almahasheer, Paul E. Carnell, Carlos M. Duarte, Carolyn J. Ewers Lewis, Xabier Irigoien, et al. 2017. “Global Patterns in Mangrove Soil Carbon Stocks and Losses.” *Nature Climate Change* 7 (7): 523–28. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>.

Barbier EB, Hacker SD, Kennedy C, Koch EW, Stier AC, and Silliman BR. 2011. “The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services.” *Ecological Monographs* 81 (2): 169–193.

Boone, J. Kauffman, and Rupesh K. Bhomia. 2017. “Ecosystem Carbon Stocks of Mangroves across Broad Environmental Gradients in West-Central Africa: Global and Regional Comparisons.” *PLoS ONE* 12

(11): 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187749>.

- Branoff, Benjamin. 2018. *Urban Mangrove Biology and Ecology: Emergent Patterns and Management Implications*. *Coastal Research Library*. (25): 521–537. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_23.
- Brunier, Guillaume, Edward J. Anthony, Nicolas Gratiot, and Antoine Gardel. 2019. “Exceptional Rates and Mechanisms of Muddy Shoreline Retreat Following Mangrove Removal.” *Earth Surface Processes and Landforms* 44 (8): 1559–71. <https://doi.org/10.1002/esp.4593>.
- Bryan-Brown, Dale N., Rod M. Connolly, Daniel R. Richards, Fernanda Adame, Daniel A. Friess, and Christopher J. Brown. 2020. “Global Trends in Mangrove Forest Fragmentation.” *Scientific Reports* 10 (1): 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63880-1>.
- Bunting, Pete, Ake Rosenqvist, Richard M. Lucas, Lisa Maria Rebelo, Lammert Hilarides, Nathan Thomas, Andy Hardy, Takuya Itoh, Masanobu Shimada, and C. Max Finlayson. 2018. “The Global Mangrove Watch - A New 2010 Global Baseline of Mangrove Extent.” *Remote Sensing* 10 (10): 1669. <https://doi.org/10.3390/rs10101669>.
- Carter, Haille N., Steffen W. Schmidt, and Amy C. Hirons. 2015. “An International Assessment of Mangrove Management: Incorporation in Integrated Coastal Zone Management.” *Diversity* 7 (2): 74–104. <https://doi.org/10.3390/d7020074>.
- Cinner, Joshua E., Eva Maire, Cindy Huchery, M. Aaron MacNeil, Nicholas A.J. Graham, Camilo Mora, Tim R. McClanahan, et al. 2018. “Gravity of Human Impacts Mediates Coral Reef Conservation Gains.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115 (27): E6116–25. <https://doi.org/10.1073/pnas.1708001115>.
- Cintrón-Molero, Gilberto, Yara Schaeffer-Novelli, André S. Rovai, Clemente Coelho-Jr., Ricardo P. Menghini, Renato de Almeida, De Oliveira Abuchahla, et al. 2023. “Variability of Mangroves Along the Brazilian Coast: Revisiting.” In *Brazilian Mangroves and Salt Marshes*, edited by Yara Schaeffer-Novelli, Guilherme Moraes de Oliveira Abuchahla, and Gilberto Cintrón-Molero, 43–65. Brazilian Marine Biodiversity. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-13486-9>.
- Cohen, Marcelo C.L., Adriana V. de Souza, Dilce F. Rossetti, Luiz C.R. Pessenda, and Marlon Carlos França. 2018. “Decadal-Scale Dynamics of an Amazonian Mangrove Caused by Climate and Sea Level Changes: Inferences from Spatial–temporal Analysis and Digital Elevation Models.” *Earth Surface Processes and Landforms* 43 (14): 2876–88. <https://doi.org/10.1002/esp.4440>.

- Das, Saudamini, and Anne Sophie Crépin. 2013. "Mangroves Can Provide Protection against Wind Damage during Storms." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 134: 98–107.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.021>.
- Diniz, Cesar, Luiz Cortinhas, Gilberto Nerino, Jhonatan Rodrigues, Luís Sadeck, Marcos Adami, and Pedro Walfir M. Souza-Filho. 2019. "Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis." *Remote Sensing* 11 (7): 808. <https://doi.org/10.3390/rs11070808>.
- Diniz, Cesar, Luiz Cortinhas, Maria Luíze Pinheiro, Luís Sadeck, Alexandre Fernandes Filho, Luis R.F. Baumann, Marcos Adami, and Pedro Walfir M. Souza-Filho. 2021. "A Large-Scale Deep-Learning Approach for Multi-Temporal Aqua and Salt-Culture Mapping." *Remote Sensing* 13 (8): 1–16.
<https://doi.org/10.3390/rs13081415>.
- Donato, Daniel C., J. Boone Kauffman, Daniel Murdiyarso, Sofyan Kurnianto, Melanie Stidham, and Markku Kanninen. 2011. "Mangroves among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics." *Nature Geoscience* 4 (5): 293–97. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.
- Duke, N.C., J. O. Maynecke, S. Dittmann, A. M. Elisson, K. Anger, U. Berger, S. Cannicci, et al. 2007. "A World Without Mangroves ?" *Science* 317: 41–43.
<http://www.sciencemag.org/content/317/5834/41.2.full>.
- FAO. 2019. "Fishery Statistical Collections. Global Aquaculture Production." Rome.
- Fazlioglu, Fatih, Justin S.H. Wan, and Luzhen Chen. 2020. "Latitudinal Shifts in Mangrove Species Worldwide: Evidence from Historical Occurrence Records." *Hydrobiologia* 847 (19): 4111–23.
<https://doi.org/10.1007/s10750-020-04403-x>.
- Ferreira, Alexander Cesar, and Luiz Drude Lacerda. 2016. "Degradation and Conservation of Brazilian Mangroves, Status and Perspectives." *Ocean and Coastal Management* 125: 38–46.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011>.
- Friess, Daniel A., Kerrylee Rogers, Catherine E. Lovelock, Ken W. Krauss, Stuart E. Hamilton, Shing Yip Lee, Richard Lucas, Jurgenne Primavera, Anusha Rajkaran, and Suhua Shi. 2019. "The State of the World's Mangrove Forests: Past, Present, and Future." *Annual Review of Environment and Resources* 44: 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>.
- Friess, Daniel A., Erik S. Yando, Guilherme M.O. Abuchahla, Janine B. Adams, Stefano Cannicci, Steven

W.J. Canty, Kyle C. Cavanaugh, et al. 2020. “Mangroves Give Cause for Conservation Optimism, for Now.” *Current Biology* 30 (4): R153–54. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.054>.

Giri, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek, and N. Duke. 2011. “Status and Distribution of Mangrove Forests of the World Using Earth Observation Satellite Data.” *Global Ecology and Biogeography* 20 (1): 154–59. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>.

Goldberg, Liza, David Lagomasino, Nathan Thomas, and Temilola Fatoyinbo. 2020. “Global Declines in Human-Driven Mangrove Loss.” *Global Change Biology* 26 (10): 5844–55. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>.

Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. “Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone.” *Remote Sensing of Environment* 202 (2016): 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

Guimarães, Ariana Silva, Paulo Travassos, Pedro Walfir Martins E. Souza Filho, Fabrício Dias Gonçalves, and Francisco Costa. 2010. “Impact of Aquaculture on Mangrove Areas in the Northern Pernambuco Coast (Brazil) Using Remote Sensing and Geographic Information System.” *Aquaculture Research* 41 (6): 828–38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02360.x>.

Hagger, Valerie, Thomas A. Worthington, Catherine E. Lovelock, Maria Fernanda Adame, Tatsuya Amano, Benjamin M. Brown, Daniel A. Friess, et al. 2022. “Drivers of Global Mangrove Loss and Gain in Social-Ecological Systems.” *Nature Communications* 13 (1): 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33962-x>.

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, et al. 2013. “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.” *Science* 850: 850–54. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.

Hatje, Vanessa, Pere Masqué, Vinicus F. Patire, Antonio Dórea, and Francisco Barros. 2021. “Blue Carbon Stocks, Accumulation Rates, and Associated Spatial Variability in Brazilian Mangroves.” *Limnology and Oceanography* 66 (2): 321–34. <https://doi.org/10.1002/lno.11607>.

He, Ziwen, Xiao Feng, Qipian Chen, Liangwei Li, Sen Li, Kai Han, Zixiao Guo, et al. 2022. “Evolution of Coastal Forests Based on a Full Set of Mangrove Genomes.” *Nature Ecology and Evolution* 6 (6): 738–49. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01744-9>.

- Hilbert, Natalia Naches, Carlos C.F. Guedes, and Paulo C.F. Giannini. 2016. "Morphologic and Sedimentologic Patterns of Active Aeolian Dune-Fields on the East Coast of Maranhão, Northeast Brazil." *Earth Surface Processes and Landforms* 41 (1): 87–97. <https://doi.org/10.1002/esp.3786>.
- IBGE. 2022. "Sistema de Contas Regionais: Brasil 2020." *Contas Nacionais*. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101975_informativo.pdf.
- ICMBio. 2018. *Atlas Dos Manguezais Do Brasil*. Instituto Chico Mendes de Conservação Da Biodiversidade.
- IPBES. 2019. "Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services." Bonn, Germany. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
- Kauffman, J. Boone, Humberto Hernandez Trejo, Maria del Carmen Jesus Garcia, Chris Heider, and Wilfrido M. Contreras. 2016. "Carbon Stocks of Mangroves and Losses Arising from Their Conversion to Cattle Pastures in the Pantanos de Centla, Mexico." *Wetlands Ecology and Management* 24 (2): 203–16. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9453-z>.
- Kuenzer, Claudia, Andrea Bluemel, Steffen Gebhardt, Tuan Vo Quoc, and Stefan Dech. 2011. *Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review*. *Remote Sensing*. 3 (5): 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>.
- Kusmana, Cecep, and Sukristijiono Sukristijiono. 2016. "Mangrove Resource Uses By Local Community in Indonesia." *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 6 (2): 217–24. <https://doi.org/10.19081/jpsl.2016.6.2.217>.
- Lacerda, Luiz Drude de, Raymond D. Ward, Mario Duarte Pinto Godoy, Antônio Jeovah de Andrade Meireles, Rebecca Borges, and Alexander Cesar Ferreira. 2021. "20-Years Cumulative Impact From Shrimp Farming on Mangroves of Northeast Brazil." *Frontiers in Forests and Global Change* 4: 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>.
- Liang, Shan, Ren Chao Zhou, Sui Sui Dong, and Su Hua Shi. 2008. "Adaptation to Salinity in Mangroves: Implication on the Evolution of Salt-Tolerance." *Chinese Science Bulletin* 53 (11): 1708–15. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0221-9>.
- McLeod, Elizabeth, Gail L. Chmura, Steven Bouillon, Rodney Salm, Mats Björk, Carlos M. Duarte,

Catherine E. Lovelock, William H. Schlesinger, and Brian R. Silliman. 2011. "A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO₂." *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (10): 552–60. <https://doi.org/10.1890/110004>.

Meireles, Antonio Jeovah de Andrade, Rodrigo S. Cassola, Soraya Vannini Tupinambá, and Luciana de Souza Queiroz. 2007. "Impactos Ambientais Decorrentes das Atividades da Carcinicultura ao Longo do Litoral Cearense, Nordeste do Brasil." *Mercator* 6 (12): 83–106.
<http://repositorio.ufc.br:8080/ri/handle/123456789/4760>.

Miththapala, Sriyanie. n.d. *Coastal Ecosystems Series (Volume 2) Ecosystems and Livelihoods Group Asia*, IUCN. Vol. 2.

———. 2008. *Mangroves: Coastal Ecosystems Series Volume 2*. Vol. 2.

Moschetto, F. A., R. B. Ribeiro, and D. M. De Freitas. 2021. "Urban Expansion, Regeneration and Socioenvironmental Vulnerability in a Mangrove Ecosystem at the Southeast Coastal of São Paulo, Brazil." *Ocean and Coastal Management* 200: 105418.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105418>.

Nascimento, Wilson R., Pedro Walfir M. Souza-Filho, Christophe Proisy, Richard M. Lucas, and Ake Rosenqvist. 2013. "Mapping Changes in the Largest Continuous Amazonian Mangrove Belt Using Object-Based Classification of Multisensor Satellite Imagery." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 117: 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>.

Naskar, Saikat, and Pratip Kumar Palit. 2015. "Anatomical and Physiological Adaptations of Mangroves." *Wetlands Ecology and Management* 23 (3): 357–70. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9385-z>.

O'Hara-Wild, Mitchell, Rob Hyndman, and Earo Wang. 2021. "Feasts: Feature Extraction and Statistics for Time Series." <https://cran.r-project.org/package=feasts>.

Pereira, Luci Cajueiro Carneiro, Wellington Nascimento Trindade, Iracely Rodrigues da Silva, Ana Vila-Concejo, and Andrew D. Short. 2016. "Maranhão Beach Systems, Including the Human Impact on São Luís Beaches." *Coastal Research Library* 17: 125–52. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_5.

Polidoro, Beth A., Kent E. Carpenter, Lorna Collins, Norman C. Duke, Aaron M. Ellison, Joanna C. Ellison, Elizabeth J. Farnsworth, et al. 2010. "The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern." *PLoS ONE* 5 (4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010095>.

- Primavera, J. H. 1998. "Mangroves as Nurseries: Shrimp Populations in Mangrove and Non-Mangrove Habitats." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46 (3): 457–64.
<https://doi.org/10.1006/ecss.1997.0275>.
- Proisy, Christophe, Nicolas Gratiot, Edward J. Anthony, Antoine Gardel, François Fromard, and Patrick Heuret. 2009. "Mud Bank Colonization by Opportunistic Mangroves: A Case Study from French Guiana Using Lidar Data." *Continental Shelf Research* 29 (3): 632–41.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.09.017>.
- Queiroz, L., S. Rossi, J. Meireles, and C. Coelho. 2013. "Shrimp Aquaculture in the Federal State of Ceará, 1970-2012: Trends after Mangrove Forest Privatization in Brazil." *Ocean and Coastal Management* 73: 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.11.009>.
- R Core Team. 2021. "R: A Language and Environment for Statistical Computing." Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Rahman, Abdullah F., Danilo Dragoni, Kamel Didan, Armando Barreto-Munoz, and Joseph A. Hutabarat. 2013. "Detecting Large Scale Conversion of Mangroves to Aquaculture with Change Point and Mixed-Pixel Analyses of High-Fidelity MODIS Data." *Remote Sensing of Environment* 130: 96–107.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.014>.
- Richards, Daniel R., and Daniel A. Friess. 2016. "Rates and Drivers of Mangrove Deforestation in Southeast Asia, 2000-2012." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113 (2): 344–49. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>.
- Richards, Daniel R., Benjamin S. Thompson, and Lahiru Wijedasa. 2020. "Quantifying Net Loss of Global Mangrove Carbon Stocks from 20 Years of Land Cover Change." *Nature Communications* 11 (1): 1–7.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-18118-z>.
- Ricklefs, R. E., and R. E. Latham. 1993. "Global Patterns of Diversity in Mangrove Floras." *Species Diversity in Ecological Communities*, no. May: 215–29.
- Ricklefs, Robert E, Andrea E Schwarzbach, and Susanne S Renner. 2016. "Rate of Lineage Origin Explains the Diversity Anomaly in the World ' s Mangrove Vegetation Authors (s): Robert E . Ricklefs , Andrea E . Schwarzbach and Susanne S . Renner Published by : The University of Chicago Press for The American Society of Natura" 168 (6): 805–10.

- Rog, Stefanie M., Rohan H. Clarke, and Carly N. Cook. 2017. "More than Marine: Revealing the Critical Importance of Mangrove Ecosystems for Terrestrial Vertebrates." *Diversity and Distributions* 23 (2): 221–30. <https://doi.org/10.1111/ddi.12514>.
- Rönnbäck, Patrick. 2001. "Shrimp Aquaculture State of the Art." *Swedish EIA Centre*.
- Sánchez-Núñez, David Alejandro, Gladys Bernal, and José Ernesto Mancera Pineda. 2019. "The Relative Role of Mangroves on Wave Erosion Mitigation and Sediment Properties." *Estuaries and Coasts* 42 (8): 2124–38. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00628-9>.
- Sanderman, Jonathan, Tomislav Hengl, Greg Fiske, Kylen Solvik, Maria Fernanda Adame, Lisa Benson, Jacob J. Bukoski, et al. 2018. "A Global Map of Mangrove Forest Soil Carbon at 30 m Spatial Resolution." *Environmental Research Letters* 13 (5): 055002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabe1c>.
- Santos, Luciana Cavalcanti Maia, Marília Cunha-Lignon, Yara Schaeffer-Novelli, and Gilberto Cintrón-Molero. 2012. "Long-Term Effects of Oil Pollution in Mangrove Forests (Baixada Santista, Southeast Brazil) Detected Using a GIS-Based Multitemporal Analysis of Aerial Photographs." *Brazilian Journal of Oceanography* 60 (2): 159–70. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592012000200006>.
- Santos, Maria J., Adam B. Smith, Stefan C. Dekker, Maarten B. Eppinga, Pedro J. Leitão, David Moreno-Mateos, Naia Morueta-Holme, and Michael Ruggeri. 2021. "The Role of Land Use and Land Cover Change in Climate Change Vulnerability Assessments of Biodiversity: A Systematic Review." *Landscape Ecology* 36 (12): 3367–82. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01276-w>.
- Sasmito, Sigit D., Pierre Taillardat, Jessica N. Clendenning, Clint Cameron, Daniel A. Friess, Daniel Murdiyarso, and Lindsay B. Hutley. 2019. "Effect of Land-Use and Land-Cover Change on Mangrove Blue Carbon: A Systematic Review." *Global Change Biology* 25 (12): 4291–4302. <https://doi.org/10.1111/gcb.14774>.
- Schaeffer-Novelli, Yara, Gilberto Cintrón-Molero, Raquel Rothleder Adaime, and Tânia Maria de Camargo. 1990. "Variability of Mangrove Ecosystems along the Brazilian Coast." *Estuaries* 13 (2): 204–18. <https://doi.org/10.2307/1351590>.
- Simard, Marc, Keqi Zhang, Victor H. Rivera-Monroy, Michael S. Ross, Pablo L. Ruiz, Edward Castañeda-Moya, Robert R. Twilley, and Ernesto Rodriguez. 2006. "Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in Everglades National Park with SRTM Elevation Data." *Photogrammetric Engineering and*

Remote Sensing 72 (3): 299–311. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.299>.

Soares, M. O., C. C. Campos, P. B.M. Carneiro, H. S. Barroso, R. V. Marins, C. E.P. Teixeira, M. O.B. Menezes, et al. 2021. “Challenges and Perspectives for the Brazilian Semi-Arid Coast under Global Environmental Changes.” *Perspectives in Ecology and Conservation* 19 (3): 267–78. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.001>.

Souza, Carlos M., Julia Z. Shimbo, Marcos R. Rosa, Leandro L. Parente, Ane A. Alencar, Bernardo F.T. Rudorff, Heinrich Hasenack, et al. 2020. “Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine.” *Remote Sensing* 12 (17). <https://doi.org/10.3390/RS12172735>.

Spalding, M., F. Blasco, and C. Field. 2010. “World Mangrove Atlas,” *Routledge*. 178

Tang, Jianwu, Shufeng Ye, Xuechu Chen, Hualei Yang, Xiaohong Sun, Faming Wang, Quan Wen, and Shaobo Chen. 2018. “Coastal Blue Carbon: Concept, Study Method, and the Application to Ecological Restoration.” *Science China Earth Sciences* 61 (6): 637–46. <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9181-x>.

Teixeira, Sheila Gatinho, Íris Celeste Nascimento Bandeira, and Marcelo Eduardo Dantas. 2021. “Shoreline Variation and Identification of Local Erosion Geoindicators on the Brazilian Amazon Coast.” *Journal of Coastal Research* 37 (6): 1088–98. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1>.

Valiela, Ivan, Jennifer L Bowen, and Joanna K York. 2001. “Mangrove Forests : One of the World ’ s Threatened Major Tropical Environments.” *BioScience* 51 (10).

Walters, Bradley B., Patrik Rönnbäck, John M. Kovacs, Beatrice Crona, Syed Ainul Hussain, Ruchi Badola, Jurgenne H. Primavera, Edward Barbier, and Farid Dahdouh-Guebas. 2008. “Ethnobiology, Socio-Economics and Management of Mangrove Forests: A Review.” *Aquatic Botany* 89 (2): 220–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>.

Wang, Earo, Dianne Cook, and Rob J. Hyndman. 2020. “A New Tidy Data Structure to Support Exploration and Modeling of Temporal Data.” *Journal of Computational and Graphical Statistics* 29 (3): 466–78. <https://doi.org/10.1080/10618600.2019.1695624>.

Wood, Simon N. 2017. *Generalized Additive Models An Introduction with R*. 2nd ed. Chapman and Hall/CRC.

Worthington, Thomas, and Spalding. 2018. "Lammert Hilarides (Wetlands International)." *Mangrove Restoration Potential*, 1–36. www.globalmangroveswatch.org.

Yee, Thomas W., and Neil D. Mitchell. 1991. "Generalized Additive Models in Plant Ecology" 2 (1): 587–602.