



ÍNDICES DE VEGETAÇÃO APLICADO NO MONITORAMENTO DOS MANGUEZAIS DA RESERVA EXTRATIVISTA DA BAÍA DO IGUAPE, BAHIA

Joaquim Lemos Ornellas¹

Alessandra Nasser Caiafa²

Elfany Reis do Nascimento Lopes³

Ecologia Ambiental

Resumo

Os manguezais são ecossistemas tropicais e subtropicais na interface entre os ecossistemas terrestres e aquáticos que realizam importantes funções ecológicas e serviços ecossistêmicos atrelado a grande biodiversidade e sustento para as populações tradicionais. A Reserva Extrativista Bahia do Iguape foi criada em 2000 para conservação dos manguezais a pedido das comunidades tradicionais. Dessa forma o objetivo do trabalho foi avaliar espacialmente a biomassa, a produção fotossintética e o fluxo de carbono dos manguezais da RESEX Baía do Iguape entre os anos de 1986, 2000, 2005 e 2020. Para tal, foram adquiridas imagens dos satélites Landsat 5 TM e 8 OLI ambos com resolução espacial de 30 metros, a composição de bandas foi processada no ArcGis 10.8 para produção dos índices de vegetação: Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Reflectância Fotossintética (PRI) e CO₂Flux. Em relação ao NDVI a vegetação apresentou baixa densidade vegetativa em 2005, ano ligado a operação da Usina Hidroelétrica 20km montante a Baía. Enquanto o PRI demonstrou redução do uso eficiente da luz na fotossíntese em 1986 e 2005, possivelmente influenciado pelas alterações de salinidade e de água doce atrelado a fatores fisiológicos. Por fim, o CO₂Flux indicou aumento no sequestro de carbono pela vegetação ao longo dos anos e reduções pontuais ligadas aos distúrbios antrópicos. Dessa forma é possível considerar que os manguezais sequestram e armazenam mais carbono ao longo do tempo pelo aumento das regiões densamente vegetadas e uso eficiente da luz na fotossíntese.

Palavras-chave: Unidade de Conservação; Sensoriamento remoto; Densidade vegetativa; Sequestro de carbono.

¹Aluno do mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Sul da Bahia/Instituto Federal da Bahia – Laboratório de Geoprocessamento e Gestão Costeira, joaquim.ornellas@gfe.ufsb.edu.br.

²Prof. Dr. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Campus Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Laboratório de Ecologia Vegetal e Restauração Ecológica, an.caiafa@ufrb.edu.br.

³Prof. Dr. Universidade Federal do Sul da Bahia – Laboratório de Geoprocessamento e Gestão Costeira, elfany@ufsb.edu.br.



INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas presentes nas interface continente-oceano típico das regiões tropicais e subtropicais do planeta recobrando cerca de 137.600 km² de extensão mundial (BUNTING *et al.*, 2018). O ecossistema desempenha diversas funções e serviços ecossistêmicos importantes a humanidade, pode-se citar a ciclagem de nutrientes e reposição do estoque pesqueiros como essencial as comunidades tradicionais extrativistas (UNEP, 2014). Também é possível elencar a alta biodiversidade nesses ambientes e a sua relevância no cenário climático com diversas pesquisas demonstrando a eficiência dos manguezais no sequestro de carbono (ALONGI, 2012; MURDIYARSO *et al.*, 2015; HAMILTON; FRIESS, 2018; DOUGHTY *et al.*, 2018).

No Brasil os manguezais são encontrados desde o Oiapoque-AP a Laguna-RS ocupando uma extensão territorial de aproximadamente 1.398.966,1 hectares (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). Tendo em vista a importância do ecossistema para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos no Brasil os manguezais são Áreas de Preservação Permanente e chegam a ter 198.000 ha de manguezais dentro de Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral e 811.000 ha em UC de Uso Sustentável (BRASIL, 2012; FREITAS *et al.*, 2018).

Na Bahia, a RESEX Baía do Iguape foi a primeira Unidade de Conservação no formato extrativista marinha a partir do Decreto sem número de 11 de agosto de 2000 (BRASIL, 2000) com cerca de 8.117,53 hectares, e após a Lei n° 12.058 de 13 de outubro de 2009, o limite foi expandido e atualmente a área dentro da Unidade é de aproximadamente 10.074,42 hectares (BRASIL, 2009). Sua localização entre os municípios de Maragogipe e Cachoeira, posiciona a região a 100 km da capital Salvador e próxima à Baía de Todos os Santos.

A criação da Unidade de conservação tem por objetivo a proteção e conservação dos manguezais localizados na porção estuarinas da Baía. De acordo com o ICMBio (2013), a RESEX comporta aproximadamente 3.400 famílias e 95% identificam-se como pescadores ou marisqueiras tradicionais. Em decorrência do processo histórico de plantações de cana-de-açúcar na região do Recôncavo da Bahia, várias comunidades de

pescadores, marisqueiras são remanescentes quilombolas integrados às comunidades indígenas, o que proporcionou habilidades de pesca extremamente eficientes (MAFEI, 2011).

Para auxiliar o monitoramento do recursos naturais de manguezais, as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto tornam-se essenciais no estudo de dados espaciais por permitir a compreensão da dinâmicas propulsores de alterações na vegetação e na paisagem possibilitando ações de manejo que se adequem ao interesse ambiental (ALBERT; GENELETTI; KOPPEROINEN, 2017). Assim, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Índice de Refletância Fotoquímica e CO₂Flux buscam analisar respectivamente a densidade da vegetação, o uso fotossintético dos comprimentos do espectro eletromagnético e o fluxo de carbono atmosférico buscando compreender estabelecer relações entre essas variáveis e distúrbios antrópicos (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Dessa maneira o objetivo desse trabalho foi avaliar espacialmente a biomassa, a produção fotossintética e o fluxo de carbono dos manguezais da Reserva Extrativista da Baía do Iguape entre os anos de 1986, 2000, 2005 e 2020.

METODOLOGIA

Aquisição de imagens

Foram adquiridas imagens dos satélites Landsat 5 sensor TM e Landsat 8 sensor OLI, ambas com resolução espacial de 30 metros no banco de dados gratuito do USGS. As imagens foram reprojatadas para o sistema de referência SIRGAS 2000 zona 24S sendo considerados os meses de coleta da imagens, dando prioridade a proximidade entre eles, bem como a cobertura de nuvens.

Análise Espectral do Manguezal

Para análise espectral foi utilizada a calculadora matricial para a razão entre as bandas espectrais, conforme a seleção das bandas específicas do registro do espectro eletromagnético. Os índices de vegetação utilizados foram o Índice de Vegetação por



Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) e o CO₂Flux.

O NDVI foi proposto por Rouse *et al.* (1974) no uso da avaliação da vegetação por utilizar a banda do infravermelho próximo, altamente refletido pela vegetação e infravermelho, muito absorvido pela vegetação para o processo fotossintético (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A aplicação desse índice nos mapas forneceu uma imagem índice com valores entre -1 a 1, sendo os valores próximos a -1 indicadores de ausência de vegetação e valores próximos a 1 áreas de vegetação densa (MEI *et al.*, 2016).

Em seguida, foi obtido o PRI pela diferença entre o comprimento das bandas verde e azul pela razão entre as mesmas. Esse índice é capaz de avaliar espectralmente a taxa fotossintética vegetal (POLONIO *et al.*, 2015).

O PRI foi convertido em sPRI seguindo a metodologia de Rahman (*et al.*, 2000) visando reescalonar o escore para valores positivos tornando-o compatível com o NDVI. Logo após o NDVI e sPRI foram combinados seguindo a metodologia também proposta por Rahman (*et al.*, 2000) para obter-se o índice CO₂Flux.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concebendo que os manguezais apresentam a maior classe e importância para os objetivos da RESEX estudada, assim como a mais impactada, uma análise detalhada das condições espectrais de densidade, taxa fotossintética e sequestro de carbono dos manguezais.

Na Baía do Iguape é possível encontrar três espécies diferentes de mangue: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (mangue preto) e bosques compostos em sua maioria por mangue vermelho e mangue branco, e, em menor escala de mangue preto (ORNELLAS, 2020). Na Figura 01 é possível visualizar espacialmente o vigor vegetativo das áreas de mangue, considerando o *score* espectral do NDVI.

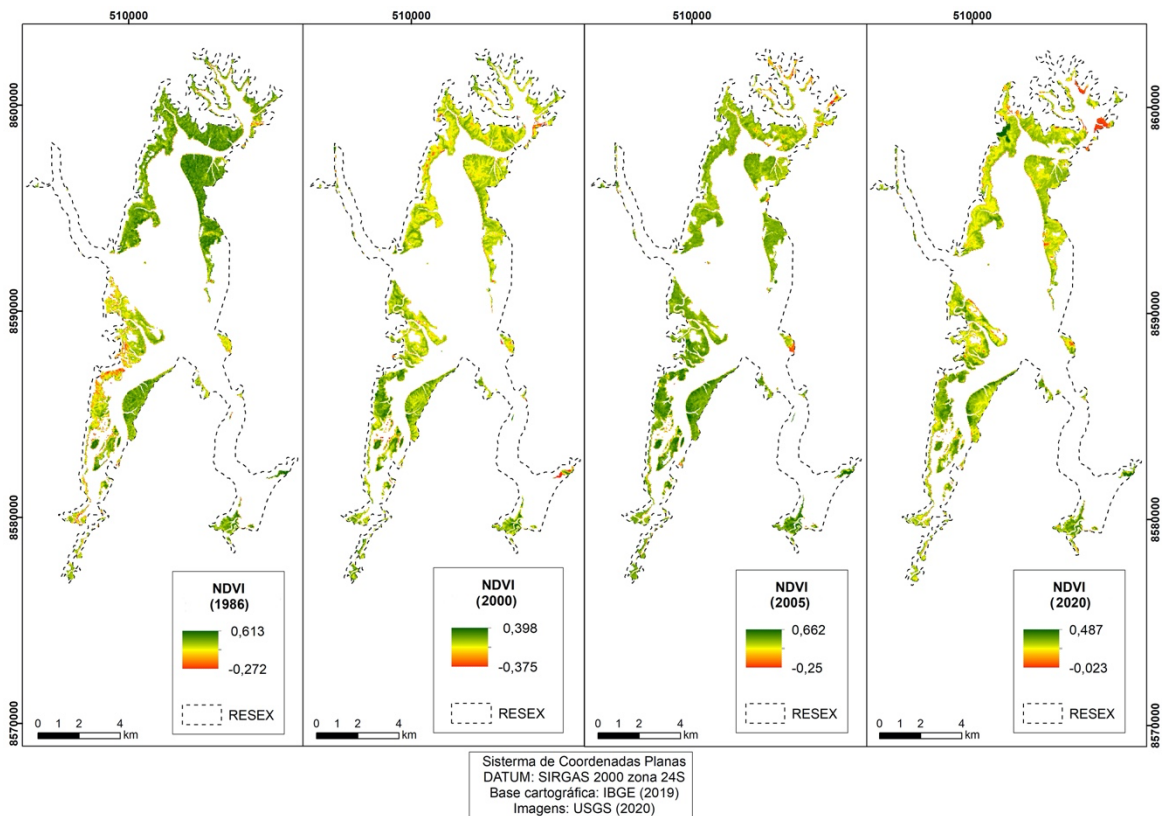


Figura 01: Distribuição espacial do NDVI para a RESEX Baía do Iguape entre 1986 e 2020.

No primeiro ano a vegetação do manguezal apresentou *score* acima de 0,5 para a maior dos seus bosques, indicando que essas áreas possuem elevado vigor vegetativo e densidade em seus bosques. Contudo, a porção centro-oeste, associada a mancha urbana de Maragogipe há perda de vigor vegetativo, impactando o desenvolvimento vegetativo e drenando a energia, antes atribuída ao desenvolvimento e regeneração do mangue e então direcionada para atenuar o impacto causado por esses distúrbios (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.* 1990).

Esse fator foi confirmado por Ornellas *et al.* (2020) quando na região da RESEX Baía do Iguape comparou que a quantidade de biomassa dos bosques próximo a mancha urbana e aqueles com melhores estágios de conservação, verificando que os primeiros possuíam 53,2 t/ha enquanto os bosques mais conservados apresentaram 64,3 t/ha.

Em 2000, percebe-se uma redução do *score* máximo e mínimos do NDVI para toda a UC quando comparado ao período anterior, podendo ser relativo ao período de



verão, com elevadas temperaturas e baixa precipitação na região (GENZ, 2007) e impactando a biomassa avaliada.

A redução da precipitação e elevadas temperaturas podem resultar na maior concentração de sal no solo do manguezal com isso, os bosques expostos enfrentam situações de estresse salino no desenvolvimento de biomassa e produtividade (TWILLEY; DAY, 1999), contribuindo para a redução de sua densidade vegetativa.

Para o ano de 2005 os manguezais voltaram a apresentar elevação no vigor vegetativo dos bosques de mangue, podendo ser reflexo do barramento da água doce e geração de energia onde há maior entrada de salinidade que induziram ao aumento da área territorial do manguezal através da colonização de novas áreas (GENZ, 2006). Além da baixa pluviosidade no período e aumento de salinidade no estuário pela operação da Usina Hidroelétrica da Pedra do Cavalo estabeleceu ambientes de estresse hídrico e salino para o manguezal (GENZ; LESSA, 2015; SILVA *et al.* 2015).

Em 2020 os baixos *scores* estão localizados em manguezais próximos as áreas ao norte da RESEX limítrofes a áreas destinadas a agricultura. Para Barbier e Cox (2003), ao analisar os manguezais de 89 países, concluíram que a presença de agricultura próximos aos mangues resultam significativamente em perda de densidade dessa vegetação. O mesmo foi avaliado por Thomas *et al.* (2017) em relação aos tensores globais de perdas de manguezais entre 1996 e 2010 confirmando que a agricultura supera a aquicultura em potencial de perda de manguezais.

A taxa fotossintética produzida pelos mangues está representada abaixo na Figura 02. Identificou-se uma redução na produção fotossintética nos anos em que houve os maiores alterações no Rio Paraguaçu ligados ao empreendimento da Barragem e Usina Hidroelétrica. Os anos de 2000 e 2020 correspondem aos períodos com maior taxa fotossintética com respectivamente 0,387 a 0,5 e 0,457 a 0,51.

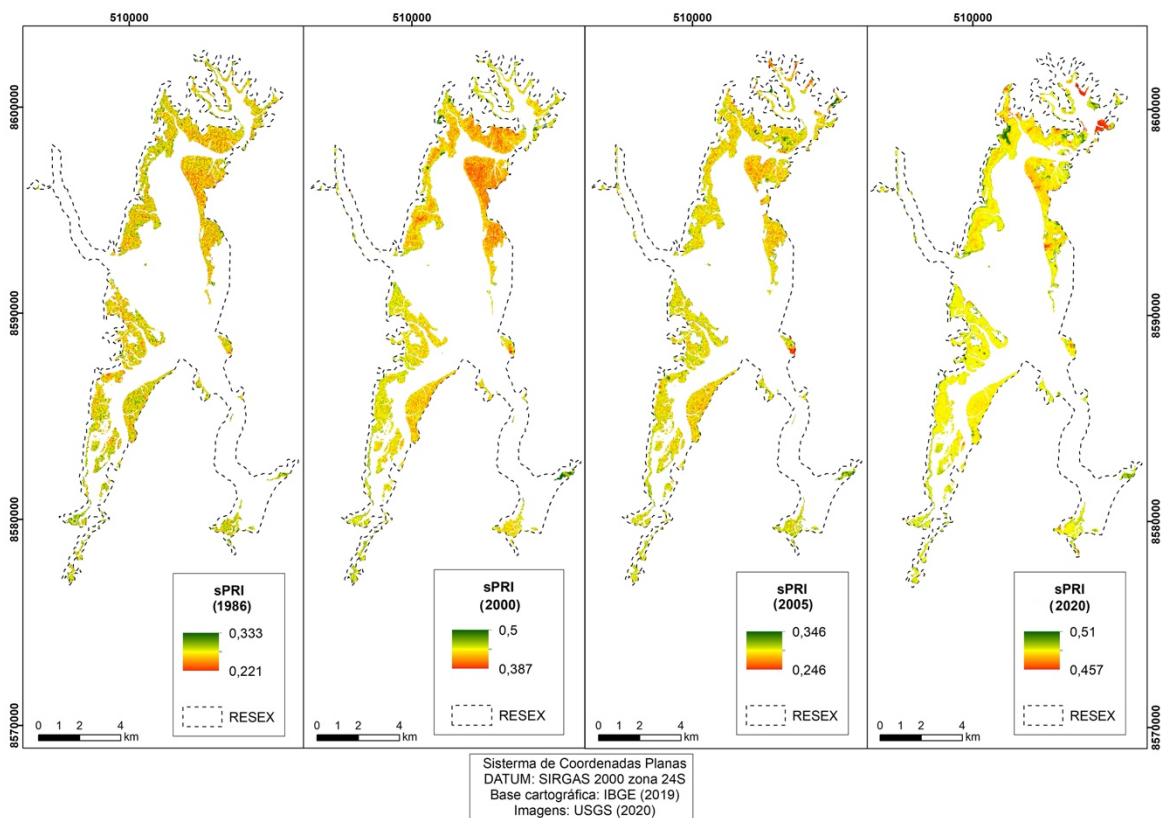
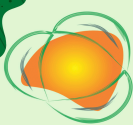


Figura 02: Distribuição espacial do sPRI para a RESEX Baía do Iguape de 1986 a 2020.

Os anos analisados demonstram aumento na taxa fotossintética, excetuando os anos de 1986 e 2005 que indicaram baixa taxa espectral. Essas reduções podem ser resultantes de uma combinação de fatores fisiológicos e ambientais como os usos antrópicos em seu entorno, além do aumento da radiação e incidência solar, ligados aos mecanismos de fotoproteção, nas horas mais quentes do dia, e estresse hídrico e salino, ligado a precipitação e regimes de marés (ZINNERT; NELSON; HOFFMAN, 2012; ZHU *et al.*, 2019).

É possível que as variações de sPRI dentro de um mesmo bosque, como observado em todas os anos, seja em função da diferença de espécies combinadas com os tipos fisiográficos de mangue que resultam em diferenças nas concentrações de salinidade e regime de marés. De acordo com Song, White e Heumann (2011) as espécies de mangue existentes da RESEX diferem em resposta espectral das variações de salinidade sendo o mangue vermelho a espécie mais sensível a essa variação e o mangue preto a espécie com maior adaptabilidade por secretar sal na lâmina foliar, reduzindo estresse salino e a



quantidade de área folear exposta diretamente a radiação (ESTEBAN *et al.* 2013).

Quando avaliado o sequestro de carbono dessas áreas, observou-se que os anos de 2005 e 2020 se destacaram com maiores fluxos de carbono na RESEX. A distribuição espacial dessas concentrações pode ser observada abaixo, na Figura 03.

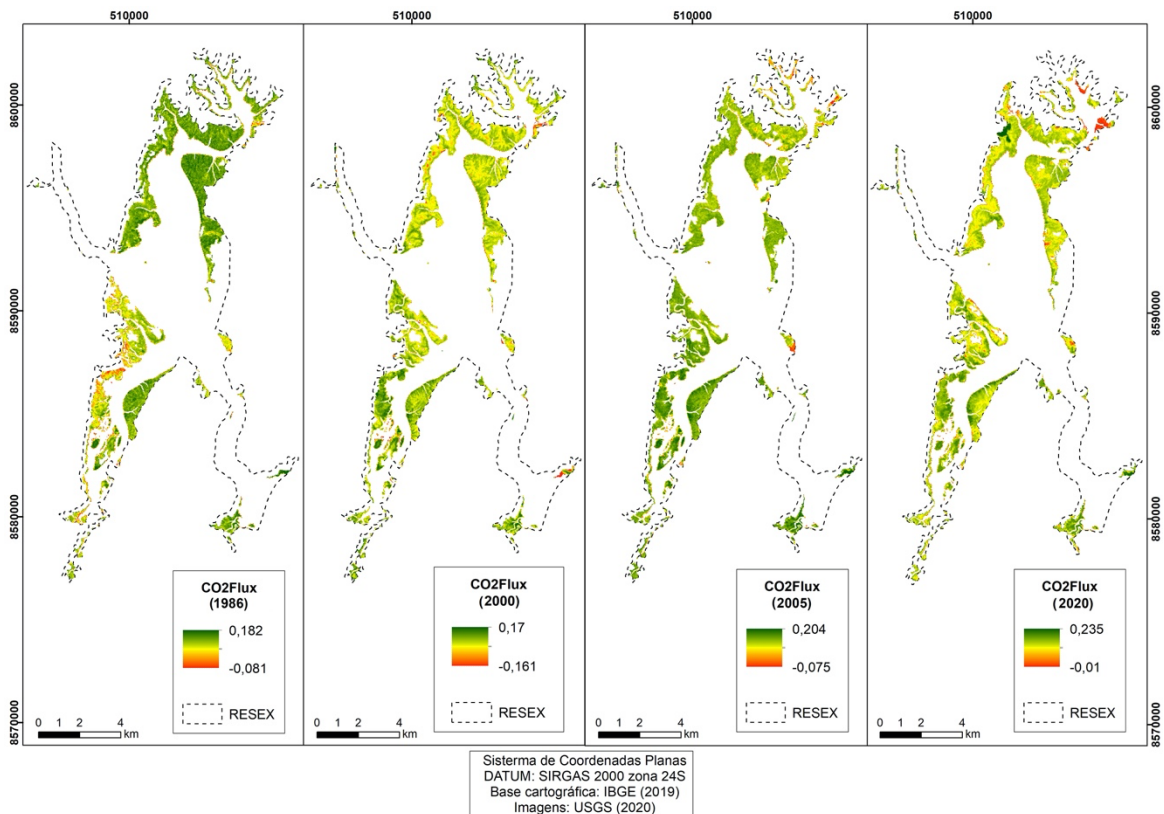


Figura 03: Distribuição espacial do CO₂Flux para a RESEX Baía do Iguape de 1986 a 2020.

Em 1986 a região norte da RESEX apresentou maior taxa de sequestro de carbono para esse ano. Contudo, a região centro-oeste onde há a presença da mancha urbana apresenta valores baixos de sequestro. A partir de 2005 observou-se que os manguezais ao sul apresentaram melhores taxas de sequestro de carbono do que as regiões ao norte que apresentaram *scores* máximos de 0,2. Na região norte da RESEX encontram-se as maiores ocorrências de áreas ligadas a agricultura e edificações rurais e, portanto, a maior antropização. São também, as regiões em que o NDVI apontou baixa densidade vegetativa.

Por fim em 2020 observou-se a tendência global dos manguezais apresentarem

valores medianos do *score* para o fluxo de carbono, sendo ainda sim o ano com maior taxa máxima de sequestro, podendo igualmente estar relacionado com a periodicidade com a qual esses bosques recebem aporte de inundações do regime de marés ou a estabilidade de seus bosques.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os manguezais sequestram e armazenam mais carbono ao longo do tempo se não sofrerem grandes perturbações, não só pelo aumento da sua extensão territorial, mas pelas regiões densamente vegetadas (NDVI) próximas ao rio e distante de áreas antrópicas apresentaram altas taxas fotossintéticas (sPRI) e maior sequestro de carbono (CO₂flux).

Os mangues de franja mostram-se mais abundantes em análises espectrais quando comparados aos mangues de bacia. A combinação de espécies de mangue confere uma composição fisiográfica a ser explorada para compreender o comportamento espectral e sua relação com os fatores de estresse salino.

E por fim, tensores ambientais e antrópicos podem alterar o comportamento espectral da vegetação e induzir a comportamentos de fotoproteção e estresse hídrico e salino comprometendo a conservação dessa classe para a Reserva Extrativista Marinha da Baía do Iguape.

AGRADECIMENTOS

(Este item é opcional) – Seja breve!

REFERÊNCIAS

ALBERT, Christian; GENELETTI, Davide; KOPPEROINEN, Leena. 7.2. Application of ecosystem services in spatial planning. **Mapping Ecosystem Services**, p. 303, 2017.



ALONGI, Daniel M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon management**, v. 3, n. 3, p. 313-322, 2012.

BARBIER, Edward B.; COX, Mark. Does economic development lead to mangrove loss? A cross-country analysis. **Contemporary economic policy**, v. 21, n. 4, p. 418-432, 2003.

BRASIL. Decreto de 11 de agosto de 2000. **Cria a Reserva Extrativista Marinha da Baía do Iguapé, nos Municípios de Maragogipe e Cachoeira, Estado da Bahia, e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2000/Dnn8999.htm. Acesso em 22 de abril de 2020.

BRASIL. Lei n 12.058 de 13 de outubro de 2009. **Altera as Leis nºs 11.786, de 25 de setembro de 2008 e dá outras providências**. Brasília, DF: presidência da República, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112058.htm. Acesso em 12 de fevereiro de 2021.

BRASIL. Lei nº 12.651 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 28 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 16 de maio de 2020.

BUNTING, Pete *et al.* The global mangrove watch—a new 2010 global baseline of mangrove extent. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1669, 2018.

DOUGHTY, Cheryl L. *et al.* Mangrove range expansion rapidly increases coastal wetland carbon storage. **Estuaries and Coasts**, v. 39, n. 2, p. 385-396, 2016.

ESTEBAN, R. *et al.* Salt crystal deposition as a reversible mechanism to enhance photoprotection in black mangrove. **Trees**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2013.

FREITAS, Daniel Morais de. *et al.* Mapas dos Manguezais do Brasil. In: ICMBio. **Atlas dos Manguezais do Brasil Biodiversidade**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

GENZ, F.; LESSA, G. C. Twenty-six years of uneven changes in low flows due to different uses and operation of a large dam in a semiarid river. **Rev Bras Recur Hídric**, v. 20, n. 2, p. 523-32, 2015.

GENZ, Fernando. **Avaliação dos efeitos da barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia.

HAMILTON, Stuart E.; FRIESS, Daniel A. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 3, p. 240-244, 2018.

ICMBio. **Dados socioeconômicos sobre a RESEX Baía do Iguape são divulgados**. Ministério do Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/4382-dados-socioeconomicos-sobre-a-resex-baia-do-iguape-sao-divulgados>. Acesso em: 24 de julho de 2020.

MAFEI, Rodolpho Antunes. RESEX BAÍA DE IGUAPE–HISTÓRICO, DESAFIOS E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO. **Seminários Espaços Costeiros**, v. 1, 2011.

MEI, A *et al.* Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data. **Journal of African Earth Sciences**, Cape Town, v. 12, p. 15-24, 2016.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MURDIYARSO, Daniel *et al.* The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 12, p. 1089-1092, 2015.

ORNELLAS, Joaquim Lemos *et al.*, A importância da conservação dos bosques de mangue para o armazenamento de carbono. *In*: CAIAFA, Alessandra Nasser (Org). **CO₂ Manguezal: Estudos científicos**. Bahia, 2020.

POLONIO, Vanessa Durante *et al.* Avaliação temporal do sequestro de carbono por meio de imagens orbitais na região de Botucatu-SP. *In*: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE**. Disponível em: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Acesso em: 13 de maio de 2020.

RAHMAN, A. F. *et al.* Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. *In*: **Aviris Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia**. 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRÓN-MOLERO, G., ADAIME, R.R. Variability of mangrove ecosystems along the brazilian coast. **Estuaries**, v.13, n.2, p.204-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. A diversidade do ecossistema manguezal. *In*: ICMBio. **Atlas dos Manguezais do Brasil Biodiversidade**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

SILVA, Tiago Rosario da *et al.* Influência do regime de vazão da usina hidrelétrica de Pedra do Cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade no trecho fluvioestuarino do baixo curso do rio Paraguaçu à Baía do Iguape. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 310-319, 2015.

SONG, Conghe; WHITE, Brian L.; HEUMANN, Benjamin W. Hyperspectral remote sensing of salinity stress on red (*Rhizophora mangle*) and white (*Laguncularia racemosa*) mangroves on Galapagos Islands. **Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 3, p. 221-230, 2011.

THOMAS, Nathan *et al.* Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. **PLoS one**, v. 12, n. 6, p. e0179302, 2017.

TWILLEY, R.R., DAY, J.W. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystem. p.127-152. *In*: YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., LARA-DOMÍNGUEZ, A. L. **Ecossistemas de manglar en América Tropical**. Instituto de Ecología, A.C.Xalapa, México; UICN/ORMA Costa Rica; NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 1999.



UNEP. **The importance of mangroves to people:** A call to action United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre. 2014 Disponível em: <http://newsroom.unfccc.int/es/el-papel-de-la-naturaleza/la-onu-alerta-de-la-rapida-destruccion-de-los-manglares/>. Acesso em 16 de maio de 2020.

ZHU, Xudong *et al.* Linking in situ photochemical reflectance index measurements with mangrove carbon dynamics in a subtropical coastal wetland. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 6, p. 1714-1730, 2019.

ZINNERT, Julie C.; NELSON, Jean D.; HOFFMAN, Ava M. Effects of salinity on physiological responses and the photochemical reflectance index in two co-occurring coastal shrubs. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1, p. 45-55, 2012.