



# CARBONO “AZUL” NOS MANGUEZAIS AMAZÔNICOS: CONSERVAÇÃO E VALORAÇÃO ECONÔMICA

**Isabela Rodrigues Santos**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará – UEPA  
[isabelarodrigues@gmail.com](mailto:isabelarodrigues@gmail.com)

**Norma Ely Santos Beltrão**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará – UEPA  
[normaelybeltrao@gmail.com](mailto:normaelybeltrao@gmail.com)

**Ariadne Reinaldo Trindade**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará – UEPA  
[dnetrindade@gmail.com](mailto:dnetrindade@gmail.com)

## Resumo

Os manguezais e seus solos associados, podem sequestrar cerca de 22,8 milhões de toneladas de carbono por ano. O carbono armazenado, sequestrado e liberado pelos ecossistemas costeiros é chamado de carbono azul. Apesar da reconhecida importância dos manguezais, estes ainda estão ameaçados devido à perda e fragmentação da cobertura vegetal e à redução da qualidade dos habitats aquáticos. O presente estudo selecionou a Ilha de Ajuruteua, localizada no município de Bragança/PA, para estimar por meio da aplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), a biomassa e o carbono acima do solo. A metodologia consistiu no cálculo de valores de NDVI a partir de imagens Landsat de 2008 e 2018 para, posteriormente, estimar os valores de biomassa e carbono. Os resultados para o ano de 2008 foram 451 Mg.ha<sup>-1</sup> (biomassa) e 196 Mg.ha<sup>-1</sup> (carbono), já para o ano de 2018 foram 290 Mg.ha<sup>-1</sup> (biomassa) e 125 Mg.ha<sup>-1</sup> (carbono). Os resultados obtidos apontaram uma redução de cerca de 35,7% nos valores de biomassa e 36,2% nos valores de carbono entre os anos de 2008 e 2018. Uma provável causa para essa redução dos estoques pode ser atribuída à dinâmica de ocupação da ilha, que acarretou na redução de cobertura vegetal.

**Palavras-chave:** mangue, NDVI, biomassa acima do solo, carbono acima do solo, Amazônia

## Abstract

Mangroves and their associated soils could sequester about 22.8 million tonnes of carbon per year. Blue carbon refers to the carbon sequestered and stored by coastal and marine vegetated ecosystems. Despite the recognized importance of mangroves, they are still vulnerable and threatened due to loss and fragmentation of vegetation cover and reduced quality of aquatic habitats. The present study selected the Island of Ajuruteua, located in the city of Bragança/PA to estimate the aboveground biomass and carbon by applying NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). The methodology consisted of the calculation of NDVI values from the Landsat images of 2008 and 2018 to estimate the values of biomass and carbon. The results for the year 2008 were approximately 451 Mg.ha<sup>-1</sup> (Biomass) and 196 Mg.ha<sup>-1</sup> (Carbon), for the year 2018 were 290 Mg.ha<sup>-1</sup> (Biomass) and 125 Mg.ha<sup>-1</sup> (Carbon). The obtained results pointed out a reduction of



approximately 35.7% in biomass values and 36.2% in carbon values between 2008 and 2018. A probable cause of this reduction is attributed to the dynamics of the occupation of the island, which led to the reduction of vegetation cover.

**Keywords:** mangrove, NDVI, aboveground biomass, aboveground carbon, Amazon

**JEL Codes:** Q5; Q51; Q56; Q57

## 1. Introdução

A conservação das florestas tem sido reconhecida como um fator essencial para a mitigação das mudanças climáticas (Herr et al., 2012). Segundo Herr et al. (2012), atualmente têm sido implantadas políticas e programas visando reduzir a pegada de carbono associada ao crescimento de suas economias, bem como apoiar práticas para conservar e gerenciar, de maneira sustentável, sistemas naturais relevantes à Convenção das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC) e ao mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+).

Dentre os principais ecossistemas tropicais e subtropicais que fornecem inúmeras funções e serviços estão as florestas de mangue (Siteo et al., 2014). De acordo com Spalding et al. (2010), as florestas de mangue ocupam aproximadamente 15 milhões de hectares das áreas de costa tropicais e subtropicais em todo o planeta. Estas florestas são responsáveis por reduzir a vulnerabilidade da região costeira diante de desastres naturais e eventos extremos, como tsunamis, furacões, ciclones, tempestades e inundações, além de promoverem a retenção de sedimentos, auxiliando no retardamento dos processos erosivos devido à elevação do nível do mar (ICMBio, 2018; Spalding et al., 2010; GIRI, et al., 2011). Ainda, as florestas de manguezais, estão entre as mais ricas em carbono nos trópicos, sendo consideradas como um dos ecossistemas mais produtivos e biologicamente relevantes (Giri et al., 2011; Chen et al., 2017). No entanto, existe uma crescente preocupação quanto às atuais perdas na cobertura florestal e degradação dos seus ecossistemas, visto que estes proporcionam bens e serviços ecossistêmicos essenciais à

humanidade e aos sistemas costeiros e marinhos (Giri et al., 2011; Chen et al., 2017).

Giri et al. (2011) destacam que os manguezais e seus solos associados, têm a capacidade de sequestrar cerca de 22,8 milhões de toneladas de carbono por ano. Nesse mesmo sentido, o ICMBio (2018) também afirma que os manguezais são importantes estocadores e sequestradores de carbono, já que o estoque de carbono por esses ecossistemas é substancialmente superior ao verificado nas demais florestas terrestres, tendo em conta o estoque no solo e a biomassa subterrânea. Em concordância com o ICMBio (2018), McLeod et al. (2011) constataram em seu estudo que os ecossistemas de vegetação costeira (pântanos de sal, manguezais e pradarias marinhas) apresentam maiores taxas de sequestro de carbono e de acumulação de sedimentos, quando comparadas às taxas de acumulação de carbono em solos de três tipos de florestas (temperadas, tropicais e boreais).

O carbono armazenado, sequestrado e liberado pelos ecossistemas costeiros (incluindo as marés, manguezais e pradarias marinhas) é chamado carbono azul (Herr et al., 2012). Apesar da reconhecida importância dos manguezais, estes ainda apresentam vulnerabilidade e estão ameaçados devido à perda e fragmentação da cobertura vegetal e a redução da qualidade dos habitats aquáticos. Isso ocorre principalmente em consequência do aumento da urbanização e da poluição associada, e às alterações na atividade aquática, que têm influenciado na redução da oferta de provisões que, por sua vez, impactam a dinâmica econômica e social de comunidades locais e outros setores que utilizam esses recursos para sobreviver, como atividades de extrativismo, turismo e pesca artesanal (ICMBio, 2018).



Para Spalding et al. (2010), as causas mais relevantes para a perda das florestas de mangue são a sua conversão para a aquicultura, agricultura e usos urbanos do solo. Os autores também ressaltam que as zonas costeiras costumam ser densamente povoadas e por essa razão, a pressão sobre essas regiões é intensa, causando assim a degradação e exploração excessiva de muitas áreas de manguezais. De acordo com o ICMBio (2018), presume-se que cerca de 25% dos manguezais em todo o país tenham sido degradados desde o início do século XX.

Spalding et al. (2010) afirmam ainda que, aproximadamente 35.600 km<sup>2</sup> de manguezais foram perdidos entre os anos de 1980 e 2005, totalizando um quarto de toda a cobertura original de mangue, perdida como consequência das ações humanas. Mesmo com a redução das taxas de perda, de 1,04% ao ano até a década de 1980 para 0,66% ao ano em 2005, essas taxas ainda alcançam valores de três a cinco vezes mais altos do que os valores geralmente alcançados pelas taxas de perda florestal global, indicando que os mangues estão desaparecendo rapidamente (Spalding et al., 2010). Giri et al. (2011) assinalam que a rápida degradação e desaparecimento dos manguezais poderá acarretar consequências negativas no deslocamento de materiais para o sistema aquático marinho, assim como poderá influenciar na composição atmosférica e nas condições climáticas.

Siteo et al. (2014), apontam que os manguezais estão em sua maioria localizados em regiões entre 30° norte e sul da linha do Equador, crescendo-se de extensões desse ecossistema ao norte das Bermudas e do Japão, ao sul da Austrália, Nova Zelândia e costa leste da África do Sul. Grimsditch et al. (2013) destacam que a África, a América do Sul e o sul da Ásia são áreas que carecem de pesquisas sobre o carbono azul, inibindo o entendimento relativo à capacidade dos habitats costeiros tropicais e de latitudes elevadas na captura, armazenamento e liberação de carbono. Dessa forma, os autores atentam para a

importância de se desenvolver estudos acerca desta temática nessas localidades.

Segundo Kauffman et al. (2018), além da maior extensão de floresta tropical, que possui um grande potencial para mitigação das mudanças climáticas globais, a Amazônia brasileira está entre as maiores áreas de manguezais do mundo. No entanto, apesar de muitos estudos objetivarem avaliar os estoques de carbono das florestas de terras altas da Amazônia, poucos têm investigado seus estoques de carbono azul (Kauffman et al., 2018).

Portanto, para desenvolver este trabalho e testar a hipótese da importância dos manguezais na produção e manutenção do carbono azul, foi selecionado como área de estudo, a Ilha de Ajuruteua, localizada no Nordeste do estado do Pará, no município de Bragança. Essa localidade possui uma praia que apresenta um grande fluxo turístico, apresentando também um grande potencial de exploração pesqueira (Pereira et al., 2006). Para Souza-Filho (2001), o mau planejamento do uso e ocupação da zona costeira associado à infraestrutura necessária para produzir os benefícios econômicos desejáveis para a região, influencia diretamente na condição ambiental da área e por consequência, na qualidade de vida dos habitantes.

Pereira et al. (2006) destacam ainda que, esse cenário pode acarretar a redução de recursos pesqueiros de fundamental importância para a dinâmica econômica do município, assim como alterações na sedimentologia e morfodinâmica da zona costeira e comprometimento da qualidade da água, devido ao despejo e disposição inadequados de efluentes líquidos e resíduos sólidos.

Neste contexto, tem-se o desafio de estabelecer indicadores que possam mensurar o carbono azul presente nos manguezais a fim de traçar sua trajetória de acumulação ou perda ao longo do tempo, dados os diversos fatores que podem afetar a conservação dos manguezais na área de estudo. Com relação a isso, Tang et al. (2016) afirmam que a estimativa de biomassa e carbono



nos manguezais através de inventários rotineiros baseados em campo, são exaustivos e trabalhosos e quase inacessíveis em larga escala e algumas abordagens alternativas baseadas em tecnologias geoespaciais são necessárias para apoiar a estimativa em grandes áreas.

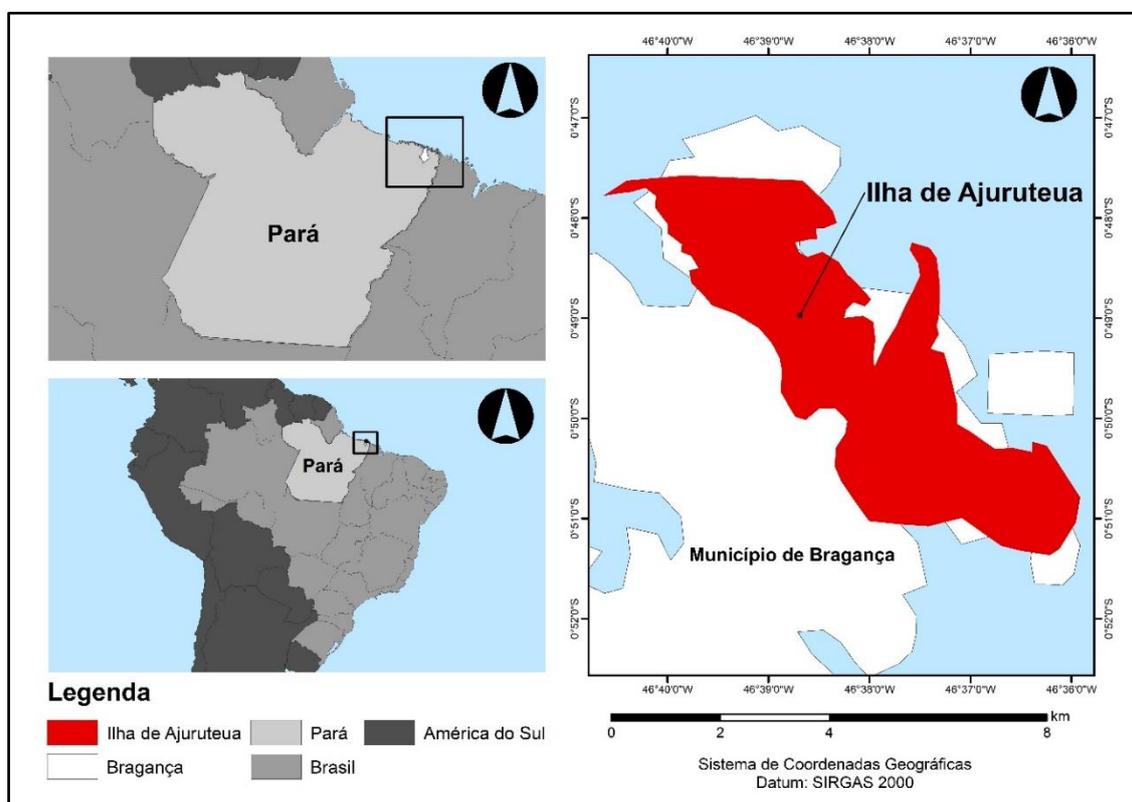
Com os recentes avanços do uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, bem como o lançamento de novos satélites com maior resolução espacial, temporal e espectral, torna-se relevante o desenvolvimento de novos estudos capazes de oferecer avaliações mais quantitativas sobre o carbono presente nos ecossistemas costeiros, o chamado carbono azul. Assim, este estudo aqui descrito teve como objetivo estimar por meio da aplicação de índices espectrais de vegetação (NDVI) a biomassa e o carbono acima do solo na Ilha de Ajuruteua – PA, a fim de traçar uma aproximação quantitativa para futuras avaliações no âmbito da valoração ambiental.

## 2. Metodologia

### 2.1. Área de Estudo

A Ilha de Ajuruteua está inserida na Península Bragantina, no Salgado Paraense, região localizada no Nordeste do estado do Pará. A ilha dista cerca de 36 km do município de Bragança e 258 km da cidade de Belém, capital do estado (Barbosa et al., 2007). A praia de Ajuruteua limita-se por manguezais, águas do Furo da Estiva e pelo mar, possuindo aproximadamente 2,5 km de extensão (Pereira et al., 2006).

O clima da ilha caracteriza-se por ser equatorial, quente e úmido, apresentando dois períodos distintos, um mais chuvoso e um menos chuvoso, o período com maiores índices pluviométricos compreende os meses de dezembro a maio, já o período com os índices mais baixos compreende os meses restantes (Martorano et al., 1993). A média anual da pluviosidade oscila entre 2500 a 3000 mm e a umidade relativa do ar entre 80 e 91%, já a temperatura média anual da região é de 25,7°C (Martorano et al., 1993).



**Figura 1.** Mapa de localização da Ilha de Ajuruteua – PA

Fonte: Autores, 2019.



## 2.2. Método

A metodologia foi realizada em etapas distintas, mas relacionadas. Na primeira etapa, houve um levantamento bibliográfico para identificação de pesquisas com as seguintes palavras-chaves: “Carbono Azul”, “Sequestro de Carbono”, “Biomassa Acima do Solo”, “Carbono Acima do Solo” e “Ecossistema de Mangue”, no âmbito internacional, nacional, regional e local, sobre a temática.

Para as etapas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram selecionadas 2 imagens relativas ao ano de 2008 e 2018, a fim de se estabelecer uma comparação entre os dois períodos. A imagem de 2008 foi proveniente do satélite Landsat 5 (LC05\_222061\_20080620) correspondente a data de 20/06/2008, e a de 2018 foi do satélite Landsat 8 (LC08\_222061\_20180920), correspondente a data de 20/09/2018. Ambas imagens possuíam a mínima cobertura de nuvens possível e resolução espacial de 30 metros (m). Para essa etapa, os cálculos do índice de vegetação foram realizados na calculadora raster do Software livre QGIS, tendo como referência o Sistema de coordenadas WGS84. A partir do cálculo do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e com base em modelos de regressão utilizados em outras regiões tropicais, procedeu-se a aproximação para estimativas de biomassa acima do solo e, posteriormente, do carbono presente nas florestas de mangue características da área de estudo.

O índice de vegetação NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973), para o destaque das feições da vegetação, determinando o intervalo de -1 a 1 aos seus valores (Jensen, 2015; Sousa et al., 2016). Conforme a Equação 1 descrita a baixo:

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

Os mapas temáticos de NDVI da área de estudo referentes aos anos de 2008 e 2018 foram produzidos através do QGIS e tiveram como objetivo identificar as áreas de mangue. Para esse estudo, o NDVI teve a função de interpretar a condição da vegetação, seja primária ou secundária, da localidade.

A aproximação para estimativas de biomassa acima do solo utilizando-se o NDVI foi desenvolvida a partir da metodologia utilizada por Muhd-Ekhzarizal et al. (2018), que encontrou na sua área de estudo uma relação entre a biomassa presente em florestas de mangues e esse índice de vegetação representada pela equação  $y = 973.87x - 190.62$ . Com as devidas adaptações, utilizou-se para este estudo aqui presente a seguinte equação (Equação 2):

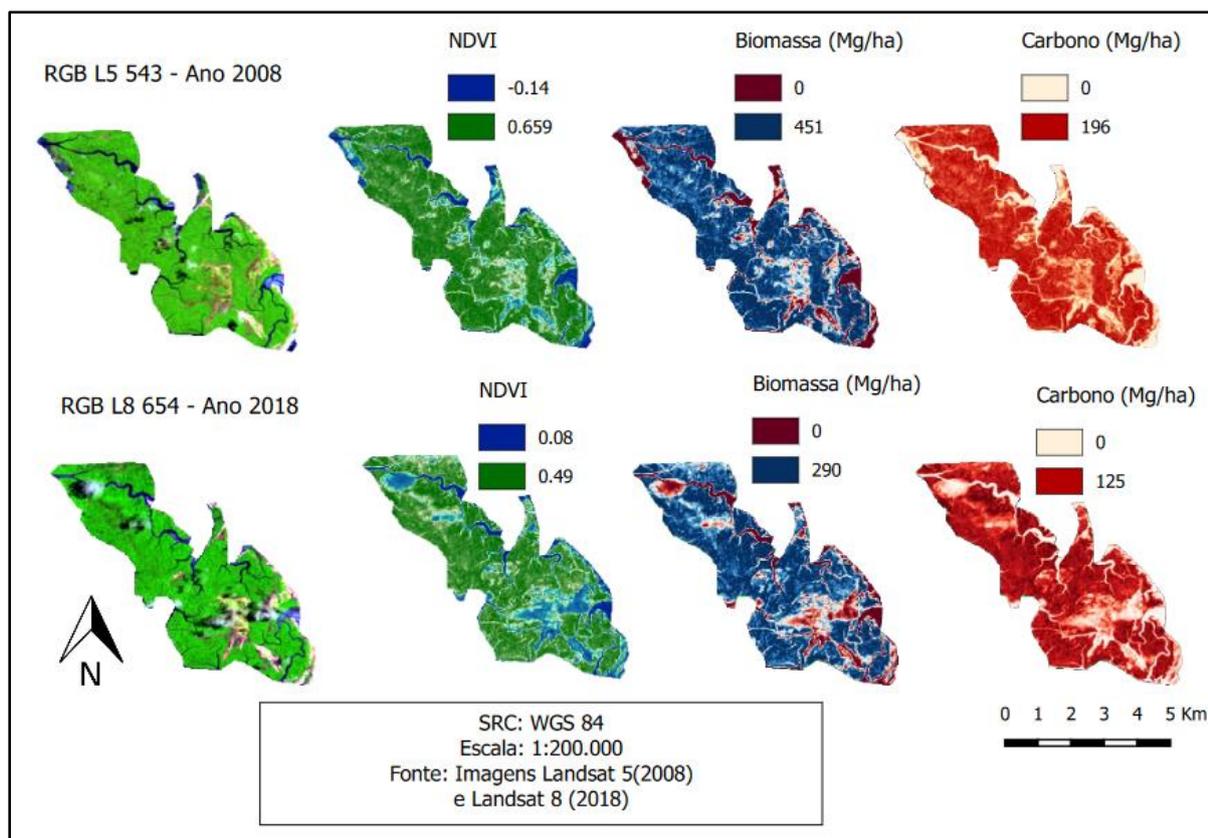
$$ABG = 973.87 * NDVI - 190.62 \quad (2)$$

Já a quantificação do carbono acima do solo foi estimada baseando-se nos resultados obtidos no estudo de Siteo et al. (2014), cujos dados apontaram que em mangues o carbono acima do solo equivale a 43,53% da biomassa.

## 3. Resultados e Discussão

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), de acordo com Huete (1998), baseia-se em combinações das reflectâncias da faixa do visível e do infravermelho próximo. Segundo Silva e Moreira (2011), o NDVI representa quantitativa e qualitativamente a vegetação verde de uma localidade com valores que variam de -1 a 1, onde os valores negativos usualmente representam massas d'água e os valores mais próximos de 1 representam as áreas mais densamente vegetadas.

A **Figura 2** a seguir expõe a aplicação do NDVI e as estimativas para biomassa e carbono acima do solo realizadas nas imagens Landsat 5 e 8 nos anos de 2008 e 2018. A **Figura 2** é composta por quatro imagens de 2008 (composição RGB, NDVI, Biomassa e Carbono) e outras quatro de 2018 (composição RGB, NDVI, Biomassa e Carbono). Verifica-se que com a aplicação do NDVI as tonalidades de azul representam as áreas com menor densidade de vegetação, já os tons de verde remetem a áreas com maior densidade. As figuras que representam a estimativa de biomassa possuem dois tons, vermelho e azul, onde vermelho significa a ausência de biomassa e azul a presença. O mesmo se repete para a estimativa



**Figura 2.** Estimativa de NDVI, Biomassa e Carbono da Ilha de Ajuruteua – PA nos anos de 2008 e 2018  
Fonte: Autores, 2019.

de carbono, porém as tonalidades passam a ser branco e vermelho, onde branco significa a ausência de carbono e vermelho a presença.

A partir da análise da Tabela 1 a seguir, é possível verificar que o NDVI em 2008 apresentou um valor máximo de 0,659 e mínimo de -0,14, quando comparado aos resultados de 2018, máximo de 0,49 e mínimo de 0,08, indicando redução de 25,6% do valor máximo, resultante da perda de vegetação densa verificada pelas imagens de satélite. A biomassa acima do solo na área de estudo encontra-se bastante expressiva no ano de 2008, apresentando uma estimativa de 451

Mg.ha<sup>-1</sup>, onde o maior quantitativo de biomassa é observado onde há maior densidade de vegetação. Já em 2018, observou-se uma significativa redução nesse valor (35,7%), que passa a ser 290 Mg.ha<sup>-1</sup>, proveniente da perda da vegetação implicando, portanto, na diminuição do estoque de carbono. Com relação às estimativas de carbono acima do solo, constatou-se que no ano de 2008 o total acumulado na Ilha de Ajuruteua foi de 196 Mg.ha<sup>-1</sup>. No ano de 2018, houve um decréscimo de 36,2% desse valor, que passa a ser 125 Mg.ha<sup>-1</sup>.



**Tabela 1.** Resultados de NDVI, Biomassa e Carbono nos anos de 2008 e 2018

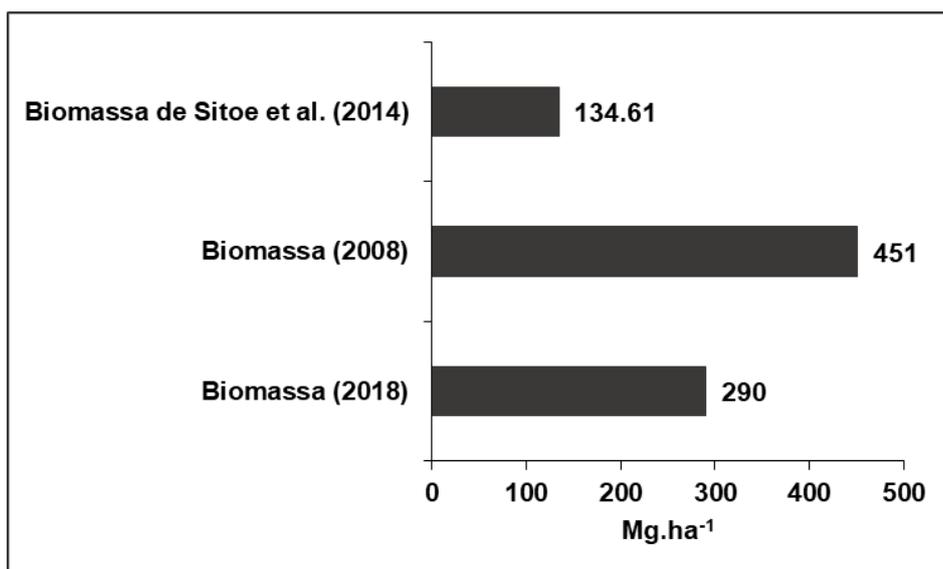
	NDVI		BIOMASSA		CARBONO	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>2008</b>	- 0,14	0,659	0 Mg.ha <sup>-1</sup>	451 Mg.ha <sup>-1</sup>	0 Mg.ha <sup>-1</sup>	196 Mg.ha <sup>-1</sup>
<b>2018</b>	0,08	0,49	0 Mg.ha <sup>-1</sup>	290 Mg.ha <sup>-1</sup>	0 Mg.ha <sup>-1</sup>	125 Mg.ha <sup>-1</sup>
<b>Redução</b>	25,6%		35,7%		36,2%	

Fonte: Autores, 2019.

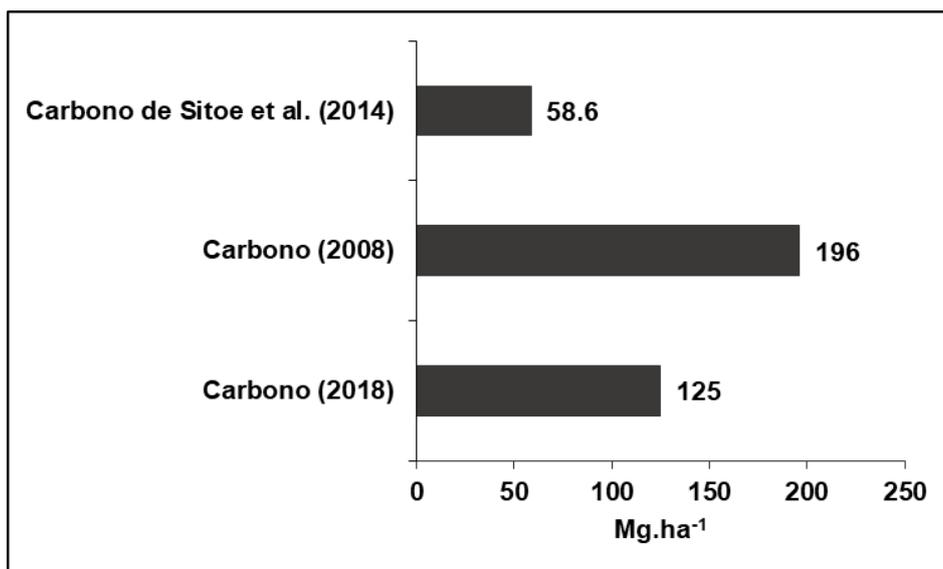
Verificou-se que tanto o NDVI, a biomassa e o carbono acima do solo apresentam o mesmo comportamento quando comparados os anos de 2008 e 2018. Nas três variáveis há uma redução significativa de um ano para o outro. O resultado é coerente, uma vez que em ambos, a biomassa e o carbono acima do solo foram estimados a partir do índice de vegetação.

Ao se buscar outros trabalhos que também estimaram a biomassa e o carbono acima do solo em áreas de vegetação de mangue, tem-se o estudo de Siteo et al. (2014) cujos resultados embasaram parte da metodologia adotada neste estudo. Siteo et al. (2014) estimou em 134,61 Mg.ha<sup>-1</sup> a biomassa acima do solo, considerando

árvores vivas, raízes, plantas herbáceas, liteiras, árvores mortas, detritos lenhosos e plantas pneumáticas. Comparando-se esse valor com as estimativas encontradas no presente estudo nos dois períodos analisados, verifica-se que é 70,15% menor que o valor máximo encontrado no ano de 2008 e 53,6% menor que o valor máximo encontrado em 2018. Enquanto que para o carbono acima do solo foi encontrado o valor total de 58,6 Mg.ha<sup>-1</sup>, ainda considerando as mesmas variáveis. Assim como para a biomassa, o valor total de carbono acima do solo foi aproximadamente 70,1% menor que o resultado máximo obtido para o ano de 2008 e 53,12% menor para o máximo do ano de 2018, na presente pesquisa (**Figuras 3 e 4**).



**Figura 3.** Comparação com os resultados obtidos por Siteo et al. (2014) para a biomassa  
Fonte: Autores, 2019.



**Figura 4.** Comparação com os resultados obtidos por Siteo et al. (2014) para o carbono  
Fonte: Autores, 2019.

A diferença superior a 50% entre os resultados de Siteo et al. (2014) e este estudo pode ser explicada pelos métodos de análise adotados, local da pesquisa e tamanho da área avaliada. O método adotado por Siteo et al. (2014) para avaliação dos estoques de carbono acima do solo foi baseada na pesquisa de Kauffman e Donato (2012); já neste estudo adotou-se a metodologia proposta por Muhd-Ekhzarizal et al. (2018). Além disso, o local da pesquisa de Siteo et al. (2014) foi a Baía de Sofala, em Moçambique, mais especificamente em Beira, cidade que apresenta um alto índice de desmatamento, sendo classificada como a segunda que apresenta maior taxa de desmate de mangues em Moçambique, o que difere do local de estudo desta pesquisa, uma vez que a Ilha de Ajuruteua não apresentou alarmantes modificações em sua cobertura vegetal.

Compara-se também os resultados obtidos para a biomassa acima do solo com os resultados de Muhd-Ekhzarizal et al. (2018), a fim de se testar seu método, o qual foi utilizado na presente pesquisa para se estimar a biomassa. Muhd-Ekhzarizal et al. (2018) pesquisaram a porção Sul da reserva florestal Kuala Sepetang, localizada na Malásia. Os autores obtiveram o valor máximo de 462,4 Mg.ha<sup>-1</sup> correspondente a biomassa acima

do solo. O valor máximo encontrado por Muhd-Ekhzarizal et al. (2018) superou neste estudo em cerca de 2,5% o valor máximo encontrado para o ano de 2008 e 37,3% o máximo para o ano de 2018. Esses resultados podem ser explicados novamente pela área de estudo da pesquisa realizada por Muhd-Ekhzarizal et al. (2018), uma vez que se trata de uma reserva florestal, local mais conservado ambientalmente quando comparado à área de estudo desta pesquisa.

Para Almeida (2017), a cobertura vegetal de Ajuruteua pode ter sofrido uma redução por conta da supressão da vegetação da ilha em Áreas de Preservação Permanente (APPs) em prol de obras públicas e privadas sem haver o devido parcelamento do solo e zoneamento de uso, além do processo de urbanização que influenciou na degradação ambiental da ilha, com ausência de saneamento básico, acarretando em poluição e contaminação dos lençóis freáticos, corpos hídricos superficiais e solo. Almeida e Jardim (2018) também destacam que o cenário atual de Ajuruteua advém da forma de ocupação promovida pelo poder público, que priorizou o desenvolvimento socioeconômico desconsiderando os ordenamentos jurídicos de preservação da orla marítima, o que resultou em impactos negativos para a região.



Os ecossistemas de manguezais constituem cerca de 3% da área florestal total de todo o mundo, e sua capacidade de armazenamento de carbono em biomassa florestal e do solo é maior do que a de florestas tropicais (Siteo et al., 2014). Além disso, as zonas úmidas das marés da Amazônia seriam maiores do que as das terras altas devido ao maior armazenamento de carbono associado a menor decomposição em solos de zonas úmidas (Kauffman et al., 2018). De fato, as florestas de mangue são altamente produtivas e possuem altos estoques de carbono presentes no solo, mais especificamente no metro superior, pois recebem grandes cargas anuais de sedimentos (Adame; Fry, 2016; Sanderman et al., 2017). Sendo assim, os manguezais podem armazenar quantidades significativas de carbono em sua biomassa, onde a maioria do armazenamento de carbono do ecossistema é tipicamente encontrado no solo (Adame; Fry, 2016; Sanderman et al., 2017).

#### 4. Considerações Finais

Neste estudo, foi apresentada uma estimativa da biomassa acima do solo e do estoque de carbono da Ilha de Ajuruteua, no Estado do Pará a partir de índices espectrais de vegetação obtidos por sensoriamento remoto. Constatou-se que, no intervalo de dez anos, houve uma redução significativa nos valores obtidos para o NDVI, e nas estimativas de biomassa e carbono. Uma provável causa dessa redução dos estoques pode ser atribuída à dinâmica de ocupação da ilha, que levou à redução de cobertura vegetal e à supressão de vegetação em áreas de preservação permanente.

Destaca-se ainda que, as estimativas de carbono em mangues encontradas na área de estudo apresentaram valores maiores que aqueles registrados pela literatura em áreas de terra firme do ecossistema amazônico. Vale ressaltar que a maioria dos ecossistemas costeiros estão vulneráveis às pressões pela mudança do uso e cobertura do solo, colocando em risco essas áreas ricas em carbono e que poderiam contribuir na mitigação das mudanças climáticas. Finalmente,

ênfata-se a importância de realizar estudos semelhantes que possam demonstrar, através da quantificação de seus serviços ecossistêmicos, o valor ambiental potencial que essas áreas possuem, bem como os custos ambientais da não preservação.

#### Referências

- Adame, M. F. e Fry, B., 2016. Source and stability of soil carbon in mangrove and freshwater wetlands of the Mexican Pacific coast. *Wetlands Ecology and Management* Vol. 24: 129-137.
- Almeida, A. F., 2017. Os Efeitos das Políticas Públicas de Desenvolvimento Socioeconômico na Zona Costeira do Nordeste Paraense: Expansão Rodoviária, Urbanização e Atividade Turística. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará. <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/9441>.
- Almeida, A. F. e Jardim, M. A. G., 2018. Mudanças socioeconômicas e ambientais resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico no litoral do Nordeste do Pará, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Vol. 49: 108-129.
- Barbosa, Vol. M., Gregório, A. M. S., Busman, D. Vol., Costa, R. A. A. M., Pereira, L. C. C. e Sousa e Filho, P. W. M., 2007. Estudo morfodinâmico durante uma maré equinocial de sizígia em uma praia de macromaré do litoral amazônico (praia de Ajuruteua-PA, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências*, Vol. 60: 31-43.
- Chen, B., Xiao, X., Li, X., Pan, L., Doughty, R., Ma, J., Dong, J., Qin, Y., Zhao, B., Wu, Z., Sun, R., Lan, G., Xie, G., Clinton, N. e Giri, C., 2017. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 131: 104-120.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. e Duke, N., 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* Vol. 20: 154–159.



Grimsditch, G., Alder, J., Nakamura, T., Kenchington, R. e Tamelander, J., 2013. The blue carbon special edition—Introduction and overview. *Ocean and Coastal Management*, 83, 1–4.

Herr, D., Pidgeon, E. e Laffoley, D., 2012. Blue Carbon Policy Framework 2.0: Based on the Discussion of the International Blue. Carbon Policy Working Group, IUCN, Gland, Switzerland, and Conservation International, Arlington, Virginia, USA.

<https://www.oceanfdn.org/sites/default/files/Herr.%20Blue%20Carbon%20Policy%20Framework%202.0-.pdf>.

Huete, A. R., 1998. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, Vol. 25: 295-309.

ICMBio, 2018. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: ICMBio. Disponível:

[https://icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf).

Jensen, J. R., 2015. *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Fourth ed. Prentice Hall Press, Upper Saddle River, NJ, USA.

Kauffman, J. B. e Donato, D. C., 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests. Working Paper 86; Center for International Forest Research (CIFOR): Bogor, Indonésia. Disponível:

[https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Working\\_Papers/WP86CIFOR.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Working_Papers/WP86CIFOR.pdf).

Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. R. O., Gomes, L. E., Romero, D. J., Jimenez, L. C. Z. e Ruiz, F., 2018. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, Vol. 14: 1–4.

Martorano, L. G. Pereira, L. C. e Nechet, D., 1993. Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather). Belém: Sudam/EMBRAPA, SNLCS.

[https://www.researchgate.net/publication/288914376\\_Estudos\\_Climaticos\\_do\\_Estado\\_do\\_Para\\_Classificacao\\_Climatica\\_KOPPEL\\_e\\_deficiencia\\_Hidrica\\_Thornthwhite\\_Mather](https://www.researchgate.net/publication/288914376_Estudos_Climaticos_do_Estado_do_Para_Classificacao_Climatica_KOPPEL_e_deficiencia_Hidrica_Thornthwhite_Mather).

McLeod, E., Chmura, G., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C., Lovelock, C., Schlesinger, W. e Silliman, B., 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 9: 552–560.

Muhd-Ekhzarizal, M. E., Mohd Hasmadi, I., Hamdan, O., Mohamad Roslan, M. K. e Noor Shaila, S., 2018. Estimation of aboveground biomass in mangrove forests using vegetation indices from SPOT-5 image. *Journal of Tropical Forest Science* Vol. 30: 224–233.

Pereira, L. C. C., Ribeiro, M. J. S., Guimarães, D. O., Souza-Filho, P. W. M. e Costa, R. M., 2006. Formas de uso e ocupação na praia de Ajuruteua Pará (Brasil). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Vol. 13: 19-30.

Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A. e Deering, D. W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309–317. <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19740022614>.

Silva, A. M. e Moreira, E. B. M., 2011. Avaliação espaço temporal do índice de vegetação (NDVI) no manguezal de Maracaípe – PE, através de imagens do satélite Landsat 5 TM. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba – PR, p.1570. <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.08.19.03/doc/p1334.pdf?metadatarpository=&mirror=urllib.net/www/2011/03.29.20.55>.

Sitoe, A. A., Mandlate, L. J. C. e Guedes, B. S., 2014. Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. *Forests* Vol. 5: 1967–1981.



Sousa, R. S., Valladares, G. S. e Espíndola, G. M., 2016. Análise do índice de vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do Estado do Piauí. Volume Especial da Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, Vol. 18: 82-99.

<http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/304>.

Souza-Filho, P. W. M., 2001. Impactos naturais e antrópicos na Planície Costeira de Bragança. IN: *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão*

Ambiental. Ed. Belém: MPEG, 113-125.  
[https://www.researchgate.net/publication/291773717\\_Impactos\\_naturais\\_e\\_antropicos\\_na\\_Planicie\\_e\\_Costeira\\_de\\_Braganca](https://www.researchgate.net/publication/291773717_Impactos_naturais_e_antropicos_na_Planicie_e_Costeira_de_Braganca).

Spalding, M. D., Kainuma, M. e Collins, L., 2010. *World atlas of mangroves*. London, UK: Earthscan.

Tang, W., Feng, W. e Jia, M., 2016. The assessment of mangrove biomass and carbon in west Africa: A spatially explicit analytical framework. *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 24.