



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estoques de *Blue Carbon* como Indicadores da Qualidade Ambiental de Manguezais no Delta Do Parnaíba

Davi Leal dos Santos Barbosa¹, Karoline de Sousa Almeida², Eduardo Lima de Sousa Júnior³, Bruna de Freitas Iwata⁴

¹Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPI), Tecnólogo em Gestão Ambiental (IFPI), Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga, CEP: 64.049-550, Teresina, Piauí. davileal000@outlook.com (autor correspondente). ² Mestranda em Engenharia Agrícola (UFC), Licenciada em Biologia (UESPI), Tecnóloga em Gestão Ambiental (IFPI), Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, s/n - Pici - CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará. karoline.almeida09@hotmail.com ³Mestrando em Engenharia Agrícola (UFC), Tecnólogo em Gestão Ambiental (IFPI), Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, s/n - Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza, Ceará. eduardolimaJunior@outlook.com. ⁴ Professora efetiva do Instituto Federal do Piauí, Doutora em Ciência do Solo (UFC), Mestra em Agronomia (UFPI), Tecnóloga em Gestão Ambiental (IFPI), R. Álvaro Mendes, 94 - Centro (Sul), CEP: 64000-040, Teresina, Piauí. iwata@ifpi.edu.br

Artigo recebido em 14/10/2022 e aceito em 05/06/2023

RESUMO

Os serviços ecossistêmicos prestados pelo manguezal se distribuem em todas as categorias atuais, as florestas de mangue são responsáveis por sustentar a linha da costa, absorção e estoque de carbono no solo, berçário de espécies, controle da maré e importantes redutores de impacto ambiental costeiro proveniente dos grandes eventos naturais. Para tanto o ecossistema demanda peculiaridades e distribuições morfológicas distintas dos demais domínios florestais que recobrem o território, sendo seus serviços, aspectos ambientais de importância socioambiental que faz com que as áreas de mangue no Brasil sejam consideradas Áreas de Proteção Permanente. Os mangues assim como demais coberturas vegetais, respondem as atividades antrópicas que os ameaçam em características fisiológicas de desenvolvimento, fator que foi observado no estudo em questão, que buscou avaliar a composição florística, fitossanitária da vegetação e estoques de carbono no solo. Os dados configuraram manguezais em estágio de recuperação de perturbações antrópicas, com 67% das áreas com baixa condição fitossanitária, além da disposição de resíduos, e supressão de espécimes. Ainda sim, apresentou boa resiliência ambiental em resposta a ocupação, injúrias e resíduos limítrofes ao mangue com presença de fauna endêmica crustácea, gastrópode e vestígios de movimentação de aves e mamíferos de médio porte, os estoques de carbono por sua vez apresentaram-se mais elevados nos manguezais mais bem consolidados e desenvolvidos com maiores índices de diâmetro a altura do peito e altura total, o contrário também foi visualizado com manguezais menos consolidados e pouco desenvolvidos estruturalmente em diâmetro e altura total. Os estoques de *Blue Carbon* representaram importantes indicadores de qualidade ambiental dos manguezais, tendo em vista que seus estoques estão intimamente ligados às condições ambientais dos ecossistemas que estão situados.

Palavras-chave: Resiliência ambiental, serviços ecossistêmicos, solo de manguezais, carbono azul.

Blue Carbon Stocks as Indicators of the Environmental Quality of Mangroves in the Parnaíba Delta

ABSTRACT

Ecosystem services provided by mangroves are distributed through all current categories. Mangrove forests are responsible for the sustaining of the coastline, soil carbon absorption and storage, nursery of species, and control of tide effects and are important for reducing the impact of major natural events on coastal environments. This ecosystem present different characteristics and morphological distributions from those of other forest domains that cover the Brazilian territory. Mangrove areas are considered as Permanent Protection Areas in Brazil due to their ecosystem services, environmental aspects, and socio-environmental importance. Mangroves, as well as other vegetation covers, respond to anthropogenic activities that threaten their physiological characteristics and development. It was considered in the present study, which sought to evaluate the vegetation floristic composition and phytosanitary status and soil carbon stocks of mangrove areas. The data showed that the mangroves were under a recovery stage from anthropic disturbances, with 67% of the areas presenting poor phytosanitary conditions. In addition, the areas presented disposed residues and suppression of species. However, they showed good environmental resilience in response to anthropogenic occupation, injuries, and residues bordering the mangrove, with presence of endemic crustacean fauna, gastropods, and evidences of presence of medium-sized birds and mammals. Carbon stocks were higher in better consolidated and developed mangroves with better indices (diameter at breast height and total height); the opposite was found for less consolidated and structurally poorly

developed mangroves with lower indices. The Blue Carbon stocks showed to be important indicators of environmental quality for mangroves, since their stocks are closely linked to the environmental conditions of the local ecosystems.

Keywords: Environmental resilience, ecosystem services, soil mangroves, blue carbon

Introdução

O homem possui uma relação de dependência direta dos ecossistemas, uma vez que os mesmos geram serviços ecossistêmicos essenciais para a sobrevivência humana, sejam de provisão, regulação, suporte ou culturais, além de água, regulação climática, satisfação espiritual e até apreciação estética (Júnior Coreia et al., 2018; Gasparinetti et al., 2018).

Em contraponto, há uma mudança substantiva nas formas de relação entre sociedade e natureza e, com isso, uma alteração severa sobre os recursos naturais, a exemplo disto o uso predatório dos manguezais. Assim, esse ecossistema costeiro formado em zonas de transição entre ambientes terrestres e marinhos, presta serviços de alta relevância para os componentes bióticos e exploração comercial humana, principalmente como fonte de recursos pesqueiros, processos físicos na linha costeira e proteção da linha da costa, sequestro de carbono, estoque de *Blue Carbon*, produção de alimento, filtro biológico, área de repouso, nidificação e berçários de espécies além de sua influência em ecossistemas adjacentes (Medeiros et al., 2014; Pinto et al., 2017; Souza et al., 2018; Favaretto, 2019; Santos et al., 2021)

Entretanto, mesmo diante dos papéis desempenhados por esses ecossistemas os manguezais ainda são ameaçados pela agricultura, exploração de madeira, mudanças climáticas, indústria de pesca e turismo, o extrativismo de camarões e a consecutiva alteração de uso de solo nessas áreas, por exemplo, geram perdas de carbono que excedem perdas causadas pela mudança na cobertura da terra, associado ao corte e queima nas florestas tropicais secas do nordeste brasileiro (Leão; Prates e Fumi, 2018; Kauffman., 2018a; Assis, 2020).

Howard et al. (2017) destacam que a conservação, restauração e uso sustentável dos mangues são essenciais para garantir que o sequestro de carbono, junto com os muitos serviços ecossistêmicos adicionais que eles fornecem enquanto preservados. Para Silva e Fongalland (2021) as leis brasileiras que tratam de manguezais ainda são incipientes. Fazendo com que, as unidades de conservação marinhas representem uma importante ferramenta para preservação de espécies, habitat e culturas (Ribeiro et al., 2020), dado que essas áreas especiais dentro de unidades de conservação garantem a manutenção de serviços ecossistêmicos e garantem a qualidade ambiental,

não apenas o mangue, mas de todos os ecossistemas codependentes desse (Portela et al, 2020).

O entendimento do ciclo do carbono na biomassa é fundamental para a compreensão dos serviços prestados pela vegetação do mangue, reconhecido quando estocado no solo como “carbono azul” ou “Blue Carbon”, dada a relevância ambiental de preservação desses ecossistemas (Loverlock e Duarte, 2019). Sendo válido destacar que, embora conhecida a relevância desse sensível indicador de qualidade ambiental, ainda é necessário ser caracterizado e quantificado nos diversos ambientes em que ocorrem, sendo importante reconhecer os elementos que se relaciona com o mesmo, a exemplo, às condições edáficas específicas, em virtude de sua fonte marinha aliada as fontes continentais de deposição, além de organismos edáficos como composição florística, fauna endêmica, hidrodinâmica e seus processos de progradação e retrogradação.

Sendo componente edáfico de zonas blue carbon, o carbono estocado tem repostas as ações antropogênicas que levam a degradação do ecossistema, ocasionando a mudança de sumidouros de carbono para fontes de carbono (Pendleton et al., 2012; Santos et al., 2017)

Além do blue carbon outro importante indicador para avaliar a qualidade ambiental de ecossistemas é o grau de conservação e volume da biomassa vegetal. Estudos vegetais em manguezais, fornecem informações essenciais para avaliação ecossistêmica além de agirem como importantes indicadores, uma vez que a dinâmica de carbono no solo é influenciada pelas espécies e o consequente acúmulo de biomassa aérea acima no solo (Rodríguez, 2019). Todavia, os estudos referentes à biomassa florestal, consideram em sua maioria o aspecto econômico deixando de lado os aspectos ecológicos, isso resulta em uma predominância de pesquisas com espécies e tipologias que possuam valor comercial (Brandão et al., 2020), sendo necessário aprofundar sobre o valor ecológico e serviços ecossistêmicos a partir da presença e manutenção da biomassa e dos estoques de carbono.

Para tanto, o referido estudo tem por objetivo avaliar a qualidade ambiental a partir de análises florísticas, índices fitossanitários da vegetação e estoques de carbono no solo em zonas Blue Carbon dos manguezais limítrofes a APA Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil.

Material e métodos

Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba (APA) (Figura 1) se localiza em parte do litoral do Nordeste do Brasil, envolvendo municípios dos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, e foi criada por intermédio do Decreto

Federal de 28 de agosto de 1996, abrangendo 313.809 hectares, acrescido de uma faixa de área marítima (Menezes e Abreu, 2020) (Figura 01). municípios dos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, e foi criada por intermédio do Decreto Federal de 28 de agosto de 1996, abrangendo 313.809 hectares, acrescido de uma faixa de área marítima (Menezes e Abreu, 2020) (Figura 01)

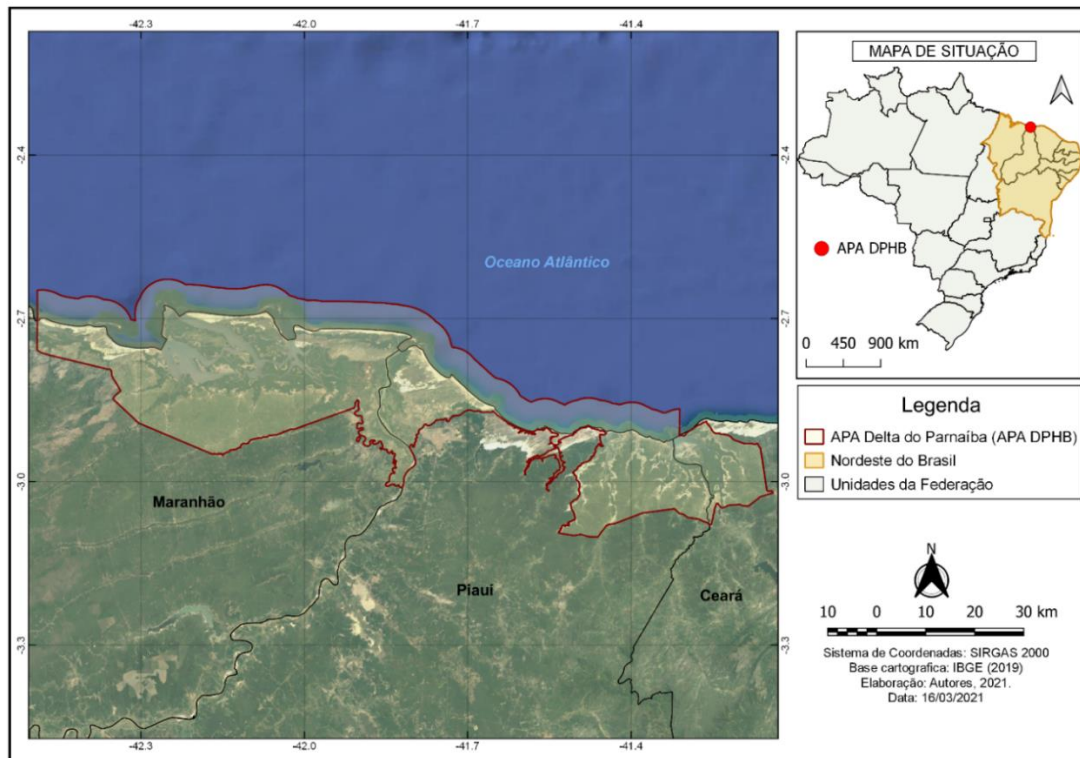


Figura 01. Mapa de localização da área de estudo: Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba. Fonte: Barbosa et al., (2021).

A unidade é gerenciada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) e coordenada por um núcleo regional de cada estado ao qual está compreendido. No território piauiense a respectiva área da APA inserida no estado, apresenta características climáticas segundo a classificação de Kooper, proposta por Medeiros (2020) como do tipo “As” (Tropical chuvoso com verão seco), com solos dos tipos Gleissolos, Neossolos (Quartzarênicos e Flúvicos), Planossolos, Espodossolos, Cambissolos e Vertissolos segundo classificação de Cabral et al., (2019), na planície costeira.

Procedimentos metodológicos

O estudo se constituiu em duas bases de análise, em primeiro momento foram delimitados os pontos amostrais e amostrados solos em ocorrências distintas de mangues, para análise e quantificação dos estoques de carbono.

Em segundo, foram levantados dados de composição florística nos quais foram considerados dados dendrométricos, fitossanitários e observacionais nas parcelas como componentes ecossistêmicos de relação, assim como inventário florístico em toda a parcela.

Amostragem de solos

As áreas amostrais (Figura 2) foram definidas a partir de critérios de relevo, sendo considerados três parcelas (20X20m) distribuídas em três especializações de manguezais inseridas

em zona de influência limítrofe a APA Delta do Parnaíba, sendo elas, manguezais próximos aos rios (M1), manguezais próximos a costa marítima (M2) e manguezais majoritariamente inseridos no continente (M3), levando em consideração áreas

com representatividade, de acesso facilitado e próximas ao desenvolvimento urbano, dando igualdade de pareamento dos dados e estabelecimento de impactos ambientais gerados pelas atividades antrópicas no ecossistema.

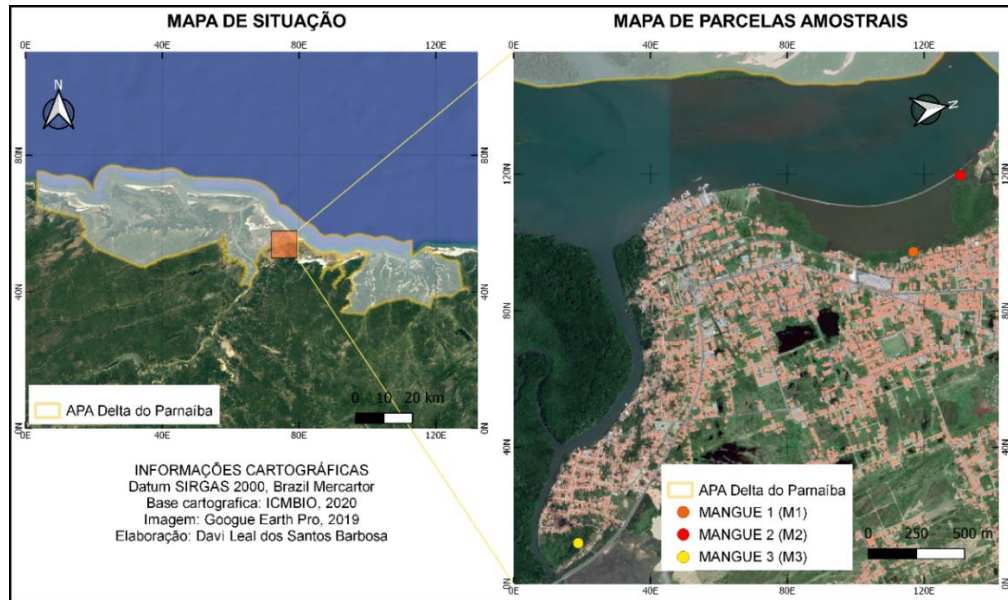


Figura 2. Mapa de parcelas amostrais. Fonte: Autores, 2021.

As coletas se deram em 18 pontos amostrais, distribuídos em todas as parcelas, sendo 3 amostras homogêneas com tubos PVC (1,20m X 50mm) (Figura 3C) uma por parcela, de 0-100 cm (Figura 3B) sendo caracterizado em profundidade os distintos estratos de solo e 15 amostras com

tubos PVC (0,3m X 40mm) cinco coletas por parcela de 0-30 cm (Figura 3A), distribuídas aleatoriamente em toda parcela, dado a dificuldade de coleta e a suscetível compressão das camadas superficiais além de caracterização composta de toda área amostral.

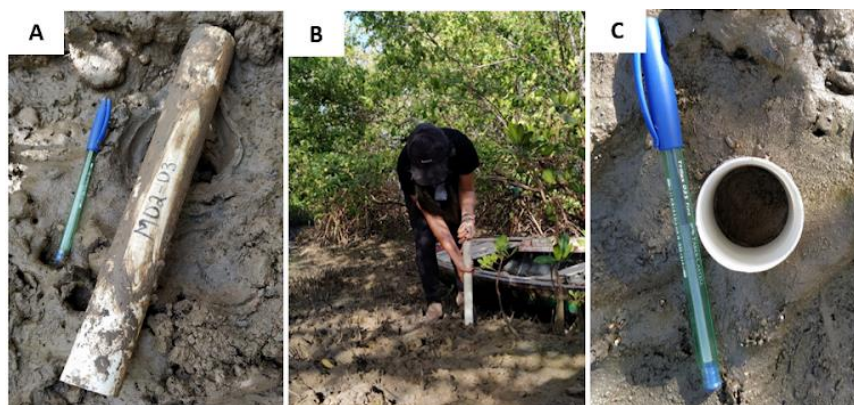


Figura 3. A) Amostra de solos em profundidade 0-30cm; B) Coleta de solos em profundidade 0-100 cm; C) Inserção de tubo amostral em PVC no solo. Fonte: Autores, 2021

Estoques totais de carbono no solo

Os estoques de carbono foram analisados a partir dos teores totais de carbono (COT) e avaliação de densidade do solo, para COT foi realizado a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). As amostras de solo foram avaliadas por

via úmida onde a matéria orgânica do solo é oxidada com uma mistura de dicromato de potássio, seguida de exposição ao calor, pelo desprendimento do ácido sulfúrico e aquecimento da placa aquecedora. Por se tratar de uma reação de

oxirredução é contabilizado por estequiometria, onde no fim da reação todo o carbono oxidável será transformado em CO₂.

A determinação do COT é feita pelo cálculo do seu teor, dado pelo volume de dicromato de potássio, usado na oxidação da matéria orgânica do solo, obtido a partir da diferença entre volume de uma prova em branco e da amostra pela titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (Teixeira et al., 2017).

Para avaliação de densidade (Ds) do solo é obtido, primeiramente, a massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume por meio de fragmento adequadamente amostrado. A massa

da amostra é obtida por meio de sua pesagem após secagem em estufa, e o volume, por meio da medida do volume interno do cilindro metálico utilizado na coleta ou por meio da medida do volume do líquido deslocado pelo torrão parafinado ou monolito impermeabilizado (Teixeira et al., 2017).

Por fim, foi calculado os estoques de carbono a partir da (Equação 1) proposta por Veldkamp, (1994). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparar os teores e estoques de carbono do solo sob as diferentes espacializações de manguezais.

$$\text{EstC Mg.ha}^{-1} = \text{COT} \cdot \text{Ds} \cdot e \cdot 10$$

(Equação 01)

Onde:

EstC: Estoque de carbono

COT: Carbono orgânico total

Ds: Densidade

e: espessura da camada considerada (cm)

Inventário florestal, fitossanitário e observacional.

Dado a necessidade de comportamento da relação solo-planta, foi realizado a inventariação vegetal de indivíduos nas três parcelas com circunferência a altura do peito (CAP) maior que 5 cm com altura mínima de 1m (100 cm), os dados dendrométricos coletados foram: altura total, altura

da copa, circunferência a altura do peito (CAP) e dados fitossanitários adaptados de Silva, Paiva e Gonçalves, (2007), onde cada indivíduo inventariado é classificado conforme uma das quatro classes de fitossanidade (Tabela 01)

Tabela 1. Classes de fitossanidade de árvores segundo, Silva; Paiva Gonçalves (2007). Fonte: Adaptado, Silva, Paiva e Gonçalves, 2007 p. 92.

Identificador	Classe	Descrição
1	Árvore boa	Vigoroso, sem sinais de pragas, doenças ou danos mecânicos e apresenta a forma característica da espécie.
2	Árvore satisfatória	Apresenta condição e vigor médios para determinado local, podendo apresentar pequenos danos físicos, pequenos problemas de pragas e doenças
3	Árvore ruim	Apresenta estágio geral de declínio e pode apresentar severos danos de pragas, doenças ou físicos e, embora não apresente morte iminente
4	Árvore morta	Sem vitalidade, ou que, devido a danos de pragas, doenças ou físicos, aparenta morte iminente

Em seguida aplicado a equação de condição geral das árvores (Equação 02), dada pela média aritmética ponderada de valores, com os números totais de espécies correspondentes às classes acima propostas

$$C = (1 \cdot N1 + 2 \cdot N2 + 3 \cdot N3 + 4 \cdot N4) / (N1 + N2 + N3 + N4)$$

(Equação 02)

Onde: N1 = número de espécies presentes na classe 1;

N2 = número de espécies presentes na classe 2;

N3 = número de espécies presentes na classe 3;

N4 = número de espécies presentes na classe 4.

Por fim, com intuito de avaliar a qualidade ambiental das parcelas amostrais, ação e impactos ambientais foi estabelecido um roteiro observacional semiestruturado de campo a fim de fornecer um panorama de impactos e facilitação de identificação de aspectos ecológicos, além do caráter bioindicador dos componentes endêmicos e antrópicos.

Resultados e discussão

Os resultados se balizaram em duas fases de interpretação: a primeira dos resultados de dendrometria e características observadas em campo e suas discussões com a literatura; e segunda as análises do solo das parcelas em estudo.

Dendrometria e características observacionais

O levantamento florístico apontou três gêneros e três espécies de manguezais

predominantes nas parcelas, *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn; *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke; *Rhizophora mangle* L. (Tabela 2), gêneros citados aparecem com frequência nos manguezais do Brasil (Bonaldi e Roderjan, 2017; Carvalho e Jardim, 2017; Santana et al., 2020), da Índia (Ragavan et al., 2018; Sreelekshmi et al., 2020), de Bangladesh, no continente asiático (Azad, Kamruzzaman e Osawa, 2019), da Indonésia (Mukhlisi, Nuryani e Sayektinigsh, 2020) entre outros.

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos de manguezais do Delta do Parnaíba

Área	Espécie	Nº	H	DAP	DenR	DomR	FrR	VI	VC
			(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F.Gaertn	5	10,34	0,05	9,09	46,30	11,11	9,50	9,23
M1	<i>Rhizophora mangle</i> L.	15	10,17	0,02	27,27	7,41	11,11	6,54	5,78
	<i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechm. ex Moldenke	35	10,42	0,05	63,64	46,30	11,11	17,29	18,32
	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F.Gaertn	34	10,48	0,09	51,52	40,91	11,11	14,79	15,40
	<i>Rhizophora mangle</i>	10	11,39	0,09	15,15	40,91	11,11	9,60	9,34

M2

Avicennia schaueriana Stapf & 22 10,82 0,06 33,33 18,18 11,11 8,95 8,59
Leechm. ex Moldenke

Laguncularia racemosa (L.) 6 27,37 0,12 42,86 53,53 11,11 15,36 16,06
C.F.Gaertn

M3

Rhizophora mangle L. 7 19,71 0,05 50 9,29 11,11 10,06 9,88

Avicennia schaueriana Stapf & 1 15 0,1 7,14 37,17 11,11 7,92 7,39
Leechm. ex Moldenke

*Nº= Número de indivíduos; H (m)= Altura média em metros; DAP(m)= Diâmetro altura do peito médio em metros; DeR(%)= Densidade relativa por área em porcentagem; DoR(%)= Dominância relativa por área em porcentagem; FrR(%)= Frequência relativa entre as áreas amostradas; VI(%)= Valor de importância por área; VC(%)= Valor de cobertura de espécie por área.

Foram avaliados um total de 135 indivíduos florestais distribuídos nas distintas espacializações de manguezais, manguezais franja (M1), manguezais transicionais (M2) e bosques de manguezais (M3), os dados não representaram um padrão de densidade de determinada espécie, mas sim apresentaram distribuição de espécies mais densas nas três parcelas, tendo densidades mais elevadas as *A. schaueriana*, *L. racemosa*, *R. mangle* nas áreas M1, M2 e M3 respectivamente.

A densidade elevada do gênero *Rhizophora* na área M3 pode ser explicada pela baixa salinidade dos solos da área que permite seu melhor desenvolvimento (Shaeffer-Novelli e Cintrón, 1986), considerando baixo acesso a fonte de águas salinas, uma vez que representa o bosque mais inserido ao continente. Além das condições

intrínsecas em decorrência do tanino de suas folhagens que tem decomposição mais lenta, retarda colonização microbiana e é aversivo aos detritívoros e sua eficiência fotossintética dependente de boa radiação incidente e bons teores de matéria orgânica (Kristensen et al., 2008; Oliveira; Rizzo e Couto, 2013; Pascoalini et al 2022).

Para os valores de dominância relativa, à espécie *L. racemosa* se mostrou com maior dominância nas três áreas de amostragem, os valores de importância se comportaram proporcionais à densidade nas áreas M1 e M2, entretanto se diferiu na área M3 com valor de importância (39,65%) maior referente a *L. racemosa*.

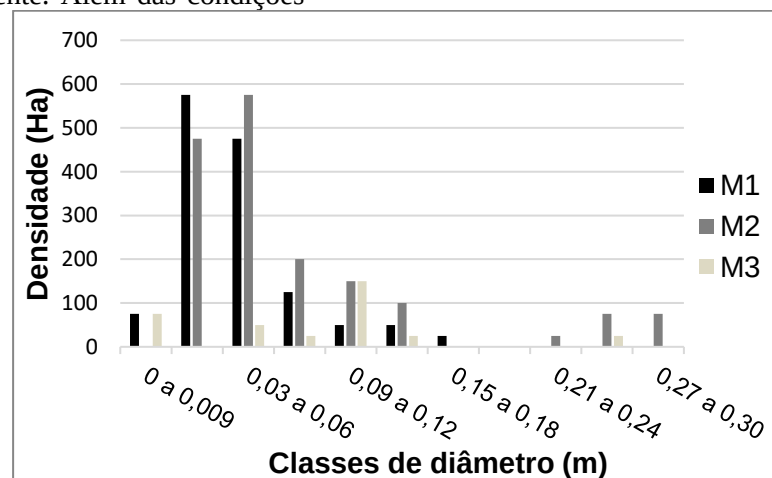


Figura 4. Classes de diâmetro (m) em manguezais de Luís Correia, PI.

Dentre as áreas, se mostrou com alturas médias baixas e com grande similaridade o M1, a concentração de espécies em classes mais baixas de altura demonstrados na (Figura 5). Os valores dispostos mostraram uma tendência de

concentração de espécies em intervalos de alturas e DAP mais baixos (Figura 4), o que revela uma possível recuperação de eventos antropogênicos, que indicam que o fragmento está se recuperando de perturbações no ambiente (Portela, 2019).

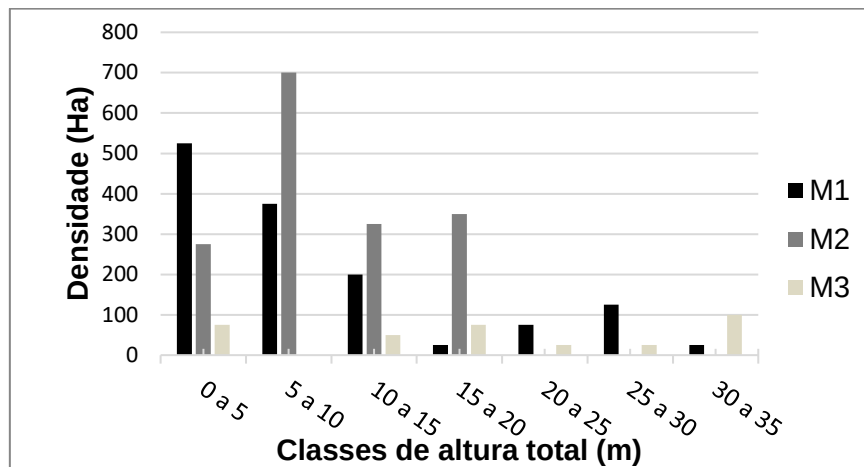


Figura 5. Classes de altura (m) em manguezais de Luís Correia, PI.

A condição fitossanitária geral das árvores denotou o fenômeno de recuperação anteriormente destacado por Portela (2019) e correspondem aos dados de H e DAP discutidos, dado a distribuição de condição geral das árvores (Figura 4) pode se visualizar uma melhor condição na área M2 e menor na área M3. Assim, a análise e classificação respondem com fidelidade os dados observacionais

in loco, considerando a densidade inferior da área M3 representada, predominância de espécies tipicamente de *R.mangle* com raízes suporte protuberantes, distribuídas densamente, presença de injúrias, ocupação e extrativismo, ainda se apresentando resiliente as formas de vida com vestígios de movimentação de fauna (Figura 6).



Figura 6. Pegadas de mamíferos e aves em manguezal do Delta do Parnaíba (M3). A) pegada de mão-pelada, *Procyon cancrivorus*; B) pegada de ave, não identificada.

As espécimes de *A.schaueriana* por conseguinte, demonstraram melhores condições fitossanitárias, com baixo índice de injúrias, infestações, infecções e necrose quando

comparadas às demais espécies identificadas, enquanto *L.racemosa* e *R.mangue* representaram as condições inferiores (Figura 7). Avaliando por

áreas, M3 se mostrou com maior média de árvores de ruínas, sendo a área com maior grau de injúrias, supressão e ocupação irregular de populações sócio ambientalmente vulneráveis em seus limites, e M2 com maior média de árvores

boas/satisfatórias, sendo a área com acesso facilitado, ocupada por condomínios, entretanto não tão intensamente quanto M3, com maior distanciamento de moradias das áreas de mangues.

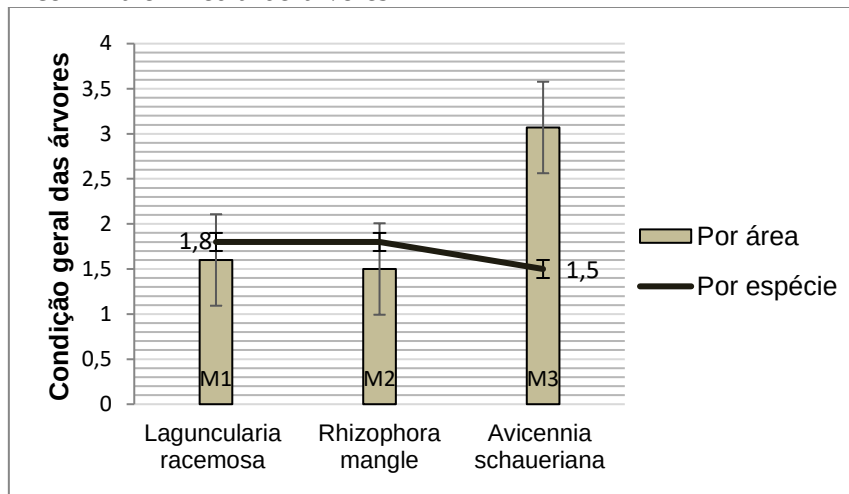


Figura 7. Classes de fitossanidade da Silva; Paiva e Gonçalves (2007)

Entretanto, ainda sob as condições atuais as áreas de manguezais apresentam-se com alta resiliência, a presença da fauna endêmica e

biodiversa, desde crustáceos bioturbadores típicos das zonas litorâneas como também gastrópodes, e crustáceos com hábito arborícola (Figura 8)



Figura 8. Fauna endêmica de manguezal do Delta do Parnaíba. A) comercialização de caranguejo uçá, *Ucides cordatus*; B) caranguejo-arborícola, *Aratus pisoni* C) caranguejo maria-mulata, *Goniopsis cruentata*; D) gastrópode, *Littoraria angulifera*.

Vale destacar a biodiversidade dos manguezais se traduz em significativa fonte de alimentos para as populações humanas e o

principal grupo que ocupa esse ecossistema seriam os macros invertebrados, que são caracterizados, principalmente, pelos crustáceos e moluscos

(Souza et al., 2018; Júnior Coreia, 2018). Os caranguejos são importantes bioturbadores e atuam na ciclagem de nutrientes nos solos de manguezais.

Atwood et al., (2019) aponta apenas 10% dos ecossistemas costeiros com vegetação fossem afetados pela perda de predadores a absorção global CO₂ pelos ecossistemas naturais poderiam ser reduzidas em ~ 9,5 milhões de toneladas e acrescenta que alterações nas relações predador-presa em ecossistemas costeiros com vegetação têm o potencial de modificar os ciclos locais e globais de C alterando sua capacidade de sequestro e preservação de estoques.

Suas espécies são amplamente exploradas nas regiões costeiras como subsídio econômico principalmente a populações tradicionais ou em condição de vulnerabilidade socioambiental, a Figura 8A demonstra a venda de caranguejos uçá na região do Delta do Parnaíba, o comerciante destacou que os caranguejos eram adquiridos em outro estado e comercializados próximo a comunidade limítrofe ao mangue M3 (Figura 9), entretanto foram identificadas carcaças de caranguejos uçás margeando a parcela M3, fator que traduz o consumo do crustáceo pela população e descarte dos animais não consumidos ou vendidos (Figura 9B).

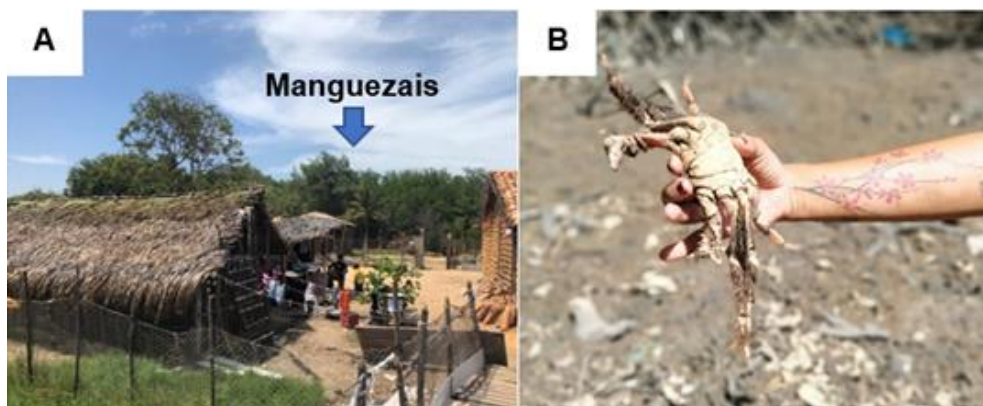


Figura 9. Aspectos ambientais observados em área de mangue M3. A) residências irregulares de populações em vulnerabilidade socioambiental em região de manguezais (ao fundo) da APA do Delta do Parnaíba; B) resíduos sólidos: carcaça de caranguejo uçá (*Ucides cordatus*).

Nesses ecossistemas se alimentam e se reproduzem mamíferos, aves, peixes, moluscos, crustáceos e entre outras espécies, algumas entendidas como recursos pesqueiros indispensáveis à subsistência tradicional das populações das zonas costeiras (Júnior Correia et

al.,2018). Porém a ausência de planejamento municipal e ordenamento territorial favorece a disseminação de impactos antrópicos ao longo de todo território, um exemplo seriam a presença de resíduos sólidos (Figura 10) dos mais diversos, nos ecossistemas de manguezais.

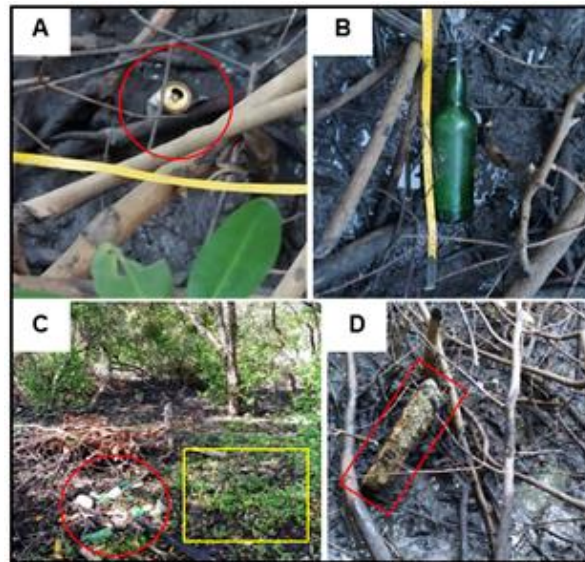


Figura 10. Dispositivo de resíduos sólidos em manguezal da APA do Delta do Parnaíba. A) lata de alumínio; B) garrafa de vidro; C) disposição de resíduos (círculo vermelho) e brotação de mudas (retângulo amarelo), ao fundo mangue com vegetação parcialmente suprimida; D) placa de isopor

Correlaciona-se a isso, a dinâmica natural de carreamento de matéria a pontos mais baixos do relevo, por se localizarem nas planícies fluviomarinhas tipicamente baixas, os resíduos não

mobilizados e tratados corretamente por políticas de gerenciamento municipal são carreados ao ecossistema, além da ocupação irregular limítrofes a este (Figura 11).



Figura 11. Ocupação irregular em área de manguezal na APA do Delta do Parnaíba. A) construção civil; B) fossa séptica semienterrada, ao fundo manguezais; C) ponto de despejo de águas residuárias.

Outrossim, foi a ausência de resíduos sólidos no M2, dado as condições de afastamento (ainda que incipiente) do ecossistema de mangue, além das barreiras mecânicas de dunas fixas e

feição de apicum, o apicum é considerado uma área sucessional ao mangue (Schaeffer-Novelli, 1999) antecede o bosque e retém fisicamente parte dos resíduos (Figura 12).

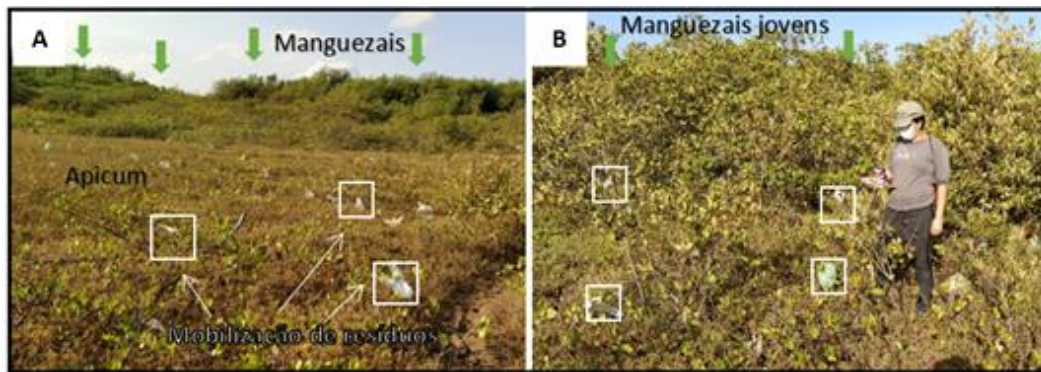


Figura 12. Mobilização de resíduos pela feição de apicum e manguezais jovens na APA do Delta do Parnaíba. A) Mobilização de resíduos por apicum; B) Mobilização de resíduos por manguezais jovens.

Análises de solos

As análises de solos foram distribuídas nas três parcelas e correlacionadas por estatística (Tabela 3), os resultados apontaram níveis de pH em faixas comuns, a áreas de manguezais, correspondendo a literatura (Kauffman et al. 2018b; Kauffman et al. 2018a; Meireles et al., 2021). O pH dos manguezais M1 e M3 demonstraram estatisticamente iguais, tendendo

acidificação, enquanto do M2 apresentaram com valor superior, tendendo a neutralidade.

Do mesmo modo nos valores de Al as áreas M1 e M3, diferindo da parcela M2 com valores menores de Al, tendência que permanece em queda, uma vez que a relação H+Al da mesma parcela aparece com valor 0,0, enquanto M2 e M3 permanecem estatisticamente iguais.

Tabela 3. pH, Al e H+Al em solos de manguezais do Delta do Parnaíba

Área	ph	Al	H+Al
0-50cm			
M1	5,4bA	0,15aB	3,01bB
M2	7,5aA	0,01bB	0,0cB
M3	5,6bB	0,20aA	3,96abA
50-100cm			
M1	5,3bA	0,50aA	4,29aA
M2	7,8aA	0,10cA	0,20bA
M3	7,7aA	0,20bcA	0,20bB

Os valores de ph no M3 em 50-100 se mostraram inferiores quando comparado ao intervalo anterior, assim como os valores de Al na mesma área apresentam-se elevados, dado a dissolução da argila e a consecutiva formação de íons, favorecido com o aumento da acidez nas camadas superficiais (Santos et al., 2019), que contribuem positivamente para fixação do fósforo e desenvolvimento arbóreo, uma vez que o mesmo detém a maior carga de P dentre as áreas (Tabela 5)

Assim, quando aplicado a interpretação dos dados aos fatores H+Al todas as áreas se diferem em teores, sejam eles aumentados em profundidade (M1 e M2) ou reduzidos (M3). Outrossim, diz respeito a maior densidade de indivíduos da espécie *A. shaueriana* na área M1,

sendo essa área com maiores valores de Al, e a espécie a mais favorecida por esse ambiente por sua capacidade de bioacumulação de metais, especialmente Al e Mg (Victório et al., 2020; Flores et al., 2021)

Para os parâmetros químicos ligado aos teores de sais e seus parâmetros correlatos do solo são demonstrados pela Tabela 4, além do Fe. O percentual total de sais (PST) das áreas de mangue 2 e 3 são estatisticamente iguais enquanto M1 se difere teores menores, o que não se repete na condutividade elétrica (CE), tendo em vista que ainda que estatisticamente o PST representa igualdade, matematicamente as áreas se distinguem, dado que M1 e M3 são valores distintos, ainda sim considerados os mais baixos.

Tabela 4. PST, CE, Na, Fe em solos de manguezais do Delta do Parnaíba

Área	PST	CE	Na	Fe
0-50cm				
M1	43bB	10,01cB	27,01aA	1,14aB
M2	52aAB	17,46aB	27,96aAB	1,01bB
M3	55aA	12,12bcA	22,89bB	1,21aB
50-100cm				
M1	50abAB	12,13bAB	16,62cB	1,98aA
M2	40bB	19,69aAB	21,44bB	1,71bA
M3	59aA	13,01bA	26,92abAB	2,01aA

Os teores de ferro têm seu menor valor no M2 e aumentam seus teores em profundidade nas três distintas áreas (Tabela 4), fato pouco comum em ambientes de mangues conservados uma vez que suas taxas seriam menores em profundidade por esgotamento de óxidos de Fe (Westrich e Berner, 1984), corroborando com os resultados apontados por Pan et al., (2019) na qual justifica o aumento de Fe em profundidade associado ao soterramento de solos costeiros/ estuarinos na qual os óxidos de Fe são enterrados em profundidade antes de serem reduzidos (Coleman et al., 1993; Mortimer et al., 2011).

São encontrados valores elevados de sais no solo, dado as características halomórficas do solo e vegetação de manguezais variando nas

parcelas, tendo sua maior concentração nas áreas 1 e 2, com solos mais hidromórficos com maior influência de águas salobras e salinas e tendo seus maiores teores nas camadas superficiais, enquanto M3 que se apresenta mais inserido ao continente, apresentou menor salinidade em decorrência de sua menor dinâmica com mar.

Ainda que a salinidade limite o crescimento das taxas e ganhos de carbono (Nguyen et al., 2015), ela desempenha papel importantíssimo no controle de pH e auxilia na manutenção da vegetação halófitas de mangue. Os dados de componentes orgânicos nos solos são imprescindíveis para toda dinâmica vegetal, no ecossistema de mangue não é diferente a Tabela 5 demonstra os parâmetros avaliados.

Tabela 5. Parâmetros orgânicos (P, N e S) em solos de manguezais do Delta do Parnaíba

Área	C	MO	EstC
0-50cm			
M1	10,21cB	37,13bA	56,66cB
M2	13,98bcB	24,10cB	85,27bB
M3	26,04aA	44,89aA	148,42aAB
50-100cm			
M1	16,98bA	29,27abB	112,91abA
M2	16,14bAB	27,83bAB	100,06bA
M3	17,34abB	29,89aB	115,31aB

Os parâmetros orgânicos relacionados à dinâmica de matéria orgânica, apontaram os valores de enxofre (S) elevados em superfície (0-50) estão ligados a sua relação com P e Fe, no qual o M2 se mostrou com maior teor de S e menor teor em P em superfície, além de representar a segunda área de amostragem com maior proximidade com o mar, sendo esta proximidade e dinâmica o ponto crucial de explicação dos seus altos teores superficiais, porquanto o ciclo das marés age na

ciclagem microbiana do sulfato e S (PAN et al., 2019).

O fósforo liberado em superfície pode ser detido por hidróxido de Fe, com o consumo contínuo de Fe por S, os valores de P lábil de difícil reabsorção são liberados e devem aumentar no solo, entretanto isto não ocorre na área M2, mas sim o Fe presente na profundidade 0-50 age como regulador do comportamento do P e perturba o efeito da ciclagem redox de S, sendo essa regulação pelo Fe é influenciada pela alta da maré (PAN et

al., 2019), fator controlado na área de amostragem por alteração em usos do solo que altera a dinâmica de encharcamento do manguezal, promovendo

condições de formação de hidróxidos de Fe que retém o P ao invés de liberá-lo.

Tabela 6. Teores médios de C, MO e EstC de solos de manguezais do Delta do Parnaíba

Área	C	MO	EstC
0-50cm			
M1	10,21cB	37,13bA	56,66cB
M2	13,98bcB	24,10cB	85,27bB
M3	26,04aA	44,89aA	148,42aAB
50-100cm			
M1	16,98bA	29,27abB	112,91abA
M2	16,14bAB	27,83bAB	100,06bA
M3	17,34abB	29,89aB	115,31aB

O teor médio de carbono orgânico (Tabela 6) no solo se mostrou abaixo dos valores apontados pela literatura em ecossistemas de manguezais (Kauffman et al., 2018b; Portela, 2019; Rovai et al., 2021). Portela (2019), na planície da área da APA Delta do Parnaíba em espacialização de coleta distintas do presente estudo, apresentou teor médio de carbono de 46,68 g.kg⁻¹ na profundidade (0-100).

Em escala macro, os solos de mangue do presente estudo são ainda inferiores a níveis de carbono em organossolos brasileiros (Valladares et al., 2016). Quando avaliado seus estoques os maiores valores médios corresponderam as áreas M3 nos sedimentos mais superficiais (0-50), valores que estão dentro dos teores de estoque dos identificados pela literatura (Wang et al., 2013) quando considerados o comportamento do extrato como um todo (0-100) temos 263 Mg C/ha, 185,33 Mg C/ha e 169,57 Mg C/ha para as áreas M3, M2 e M1, respectivamente (Kaffuman et al., 2018b; Kauffman e Bhomia, 2017; Rovai, 2018)

Os estoques de carbono são influenciados por diferentes fatores ambientais, como as entradas de carbono oriundos de ecossistemas adjacentes, o grau de retenção e exportação de matéria orgânica, taxas de sedimentação, controles bióticos e pressões antrópicas (Walcker et al., 2018). Neste estudo, destaca-se o M3 com o maior estoque de carbono dentre as áreas, com estoques que se encontra na faixa de estoque de manguezais da planície costeira do Piauí inscrita na APA Delta do Parnaíba (Portela, 2019)

O M3 apresentou maiores EstC e representa a área com os maiores valores de DAP, altura para *R. Mangle* o que explica a densidade horizontal de suas raízes escoras, Wilkens et al.,

(2018) apontam que a extensão horizontal das raízes de *R. Mangle*, assim como a sua inclinação são dependentes da altura do tronco, denotando que o estágio de povoamento do sistema radicular está intimamente ligado ao desenvolvimento em DAP e altura do mangue que por conseguinte, depende de condições do solo.

Referente aos demais manguezais estudados, verificou-se menores concentrações de C. Walcker et al., (2018) em estudo desenvolvidos na Guiana Francesa, expõe que solos de mangues recém-formados são compostos por lodos marinhos densos com baixas concentrações de carbono, entretanto povoamentos de manguezais mais antigos favorecem o enriquecimento nas camadas mais superficiais por material orgânico em decorrência da deposição de serrapilheira. Característica que também explica os baixos teores de carbono na área de mangue M1, que podem estar ligados a camada pedogenética ainda em desenvolvimento (Walcker et al., 2018) e das constantes alterações em características estruturais da vegetação.

O *R.Mangle* apresentou biomecânica radicular específica às condições geomorfológicas mais instáveis (Mendéz-Alonzo et al., 2015), denotando que mesmo o bosque de mangue M3 estando inserido mais ao continente, com maior distância da costa marinha, o mesmo esteve e está condicionado a dinâmica de encharcamento, sendo a presença de *R.Mangle*, seu desenvolvimento radicular indicadores. Vale ressaltar que o alto teor de carbono nas camadas mais superficiais (0-50 cm) estão intimamente ligados ao carbono autóctone, produzido e depositado no próprio mangue (Howard et al, 2014).

A sistematização destas informações é primordial para estudos de áreas de manguezais de forma mais holística, considerando ecossistemas e formas de vidas associadas direta e indiretamente a estes ambientes (Rabelo, 2018), de modo geral os manguezais da área M1 apresentaram as menores taxas de estoques de carbono, M2 representaram área com valor intermediário e M3 áreas com maiores estoques de carbono.

As condições de estoque nas áreas de manguezais M1 e M2 respondem às condições antrópicas que estão expostas, sejam pela geomorfologia dos solos hidromórficos (M1), condições fitossanitárias (M2), dinâmica de ocupação e despejo de resíduos sólidos (M1, M2). Já os estoques da área M3 responderam não apenas as pressões antrópicas comumente discutidas, como também o seu grau de desenvolvimento arbóreo, desenvolvimento radicular e deposição de biomassa aérea no solo (serrapilheira).

Para tanto, é necessário a implementação contínua de medidas que visem a diminuição das perdas de áreas de mangue e a conservação das florestas, uma vez que a mudança na cobertura dessa vegetação resultarão em mudanças nos estoques de carbono azul, sido reconhecida como um fator essencial para a mitigação das mudanças climáticas, sendo incentivado o enfoque e promoção de políticas de preservação em ecossistemas de manguezais, que além de representar sumidouros importantíssimos são administráveis localmente, ao invés de combate a emissões nacionais (Nóbrega, 2013; Howard et al., 2017; Hermom et al., 2018).

Referências

- Atwood, T.B., Connolly, R.M., Almahasheer, H., Carnell, P.E., Duarte, C.M., Ewers Lewis, C.J.; Lovelock, C.E., 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change* 7, 523-528 <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Azad, S. Kamruzzaman, Osawa, A., 2019. The influences of cyclone on abundance, species diversity and floristic composition in mangrove ecosystem in the Sundarbans, Bangladesh. *Regional Studies in Marine Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100621>
- Assis, D.M.S., 2020. O efeito das mudanças climáticas e das atividades econômicas na perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos dos manguezais. In: Martins, M.B., Jardim, M.A.G., Sabino, W.O., Barros, M.F.G.S. 2020. *Reflexões em Biologia da Conservação*. 2, 300.

Conclusão

Os manguezais da área de influência da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba apresentam-se com três espécies distintas de manguezais (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn; *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke; *Rhizophora mangle* L.), em 67% das áreas avaliadas estão em estágio de recuperação de ações antrópicas degradantes. As feições ecossistêmicas representaram papéis importantíssimos na dinâmica de recebimento de resíduos pelo mangue e no desenvolvimento de espécies vegetais de *R.Mangle* L.

As áreas se mostraram resilientes às atividades antrópicas sofridas, com boas respostas às pressões recebidas pela ocupação irregular limítrofe, apresentando riqueza em fauna, e condições fitossanitárias satisfatórias.

Os estoques de carbono foram maiores nas áreas de mangues bem desenvolvidos e consolidados com maior dominância de *R. Mangle* L., e em vegetações que apresentaram maiores valores de DAP e Altura (Ht). Os estoques de Blue Carbon representaram importantes indicadores de qualidade ambiental dos manguezais, tendo em vista que seus estoques estão intimamente ligados às condições ambientais dos ecossistemas que estão situados.

- Barbosa, D.L.S., Almeida, K. S., Sousa Júnior, E. L., Morais, R. C. S., Iwata, B. F., 2021. Padrões espaciais e usos da terra em manguezais do Delta do Parnaíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 3881-3890. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3881-3890>
- Brandão, M. L. S. M., Iwata, B. F., Alencar, G. S., Carvalho, S. P., Almeida, K. S., Silva, C.M.A., Rocha, I. L., Sousa, M.C.B. 2020. Biomassa aérea e NDVI em zona ecotonal cerrado-caatinga da Flona de Palmares, Altos, Piauí, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 11, 463-470. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0042>
- Bonaldi, R. D. A., Roderjan, C. V., 2017. Levantamento florístico e caracterização estrutural de um manguezal na APA de Guaraqueçaba, Paranaguá, PR. *Acta Biológica*

- Catarinense 4, 19–28.
<https://doi.org/10.21726/abc.v4i1.259>
- Cabral, L. J. R. S., Valladares, G. S., Pereira, M. G., Pinheiro Júnior, C.R., Lima, A.M., Frota, J.C.O., Amorim, J.V.A., 2019. Classificação dos solos da Planície do Delta do Parnaíba, PI. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 1466–1483. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1466-1483>.
- Carvalho, E. A., Jardim, M. A. G., 2017. Composição e estrutura florística em bosque de manguezais paraenses, Brasil. *Ciência Florestal* 27, 923-930. <https://doi.org/10.5902/1980509828641>
- Coleman, M.L., Hedrick, D.B., Lovley, D.R. White, D. C., Pye, K., 1993. Reduction of Fe (III) in sediments by sulfate-reducing bacteria. *Nature* 361, 436–438. <https://doi.org/10.1038/361436a0>
- Favareto, A., 2019. A dimensão territorial do desenvolvimento brasileiro recente e os vetores de uma transição ecológica nos marcos da agenda 2030. *IGEPEC, TOLEDO*, 172–190. <https://doi.org/10.48075/igepec.v23i0.22752>
- Flores, V.R., Berbert, L.C., Succar, J.B. et al. *Avicennia schaueriana* as a highly efficient accumulator for Manganese in Sepetiba Bay, Brazil. *International Journal Environmental Science Technology* 19, 6863–6868 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03482-0>
- Gasparinetti, P., Jericó-Daminello, Seehusen S. E., Vilela, T., 2018. Os valores dos serviços ecossistêmicos dos manguezais brasileiros, instrumentos econômicos para a sua conservação e o estudo de caso do Salgado paraense. *Funbio*, p.67
- Hermon, D., Putra, A., Oktorje, O., 2018. The Model of Mangrove Land Cover Change for the Estimation of Blue Carbon Stock Change in Belitung Island -Indonesia. *International Journal of Applied Environmental Sciences* 13, 973–6077.
- Howard, J., Isensee, K., Telszewski, M., 2014. Coastal Blue Carbon. *Conservation International* 36, 180.
- Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D. Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., Simpson, S., 2017. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, 42–50. <https://doi.org/10.1002/fee.1451>
- Kathiresan, K., 2018. Mangrove forests of India. *Current Science* 114, 976–981.
- Kauffman, J. B., Bhomia, R. K., 2017. Ecosystem carbon gradients in West-Central Africa: global and regional comparisons. *PLoS ONE* 12, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0187749>
- Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Bolton, N. W., Gomes, L.E.O., Nóbrega, G. N., 2018a. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and evolution* 8, 5530–5540. <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>
- Kauffman J.B., Bernardino A.F., Ferreira T.O., Giovannoni L.R., Gomes L.E.O., Romero D.J., Jimenez L.C.Z., Ruiz F., 2018b. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biol. Lett* 14. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., Marchand, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic Botany* 89, 201-219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- Correia Júnior, A., Silva, E. V., Miranda, L. C. Rabelo, F. D. B., Carvalho, R. G., 2018. Panorama sobre o estado atual de conservação do manguezal da região costeira de Cacheu / Guiné-Bissau. *InterEspaço*, 49–66. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n14p49-66>
- Leão, A. R., Prates, A. P. L., Fumi, M., 2018. Manguezal e as unidades de conservação. In: *ICMBio. Atlas dos Manguezais do Brasil*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 57 – 73.
- Lovelock, C. E., Duarte, C. M., 2019. Dimensions of blue carbon and emerging perspectives. *Biology Letters* 15, 1–5. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0781>
- Medeiros, R. M. De., 2020. Classificação climática de köppen para o estado do Piauí – Brasil. *Revista Equador* 9, 82–99. <https://doi.org/10.26694/equador.v9i3.9845>
- Meireles, V. D. J. S., Meireles, M. P. A., Lemo, J. R., de Barros, R. F. M., & Campos, J. B., 2021. Impactos da extração madeireira sobre a estrutura de um bosque de mangue na APA Delta do Parnaíba, 1-21 <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2021v15n3.52244>
- Medeiros, S. R. M. De, Carvalho, R. G. De, Pimenta, M. R. C., 2014. A proteção do ecossistema manguezal à luz da lei: 12.651/2012: novos desafios para a

- sustentabilidade dos manguezais do Rio Grande do Norte. *Revista Geotemas* 4, 59-78.
- Menezes, E. O., Abreu, C. T., 2020. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Delta Do Parnaíba / Icmbio, 77.
- Méndez-Alonzo, R., Moctezuma, C., Ordoñez, V. R., Angeles, G., Martínez, A. J., López-Portillo, J., 2015. Root biomechanics in *Rhizophora mangle*: anatomy, morphology and ecology of mangrove's flying buttresses, *Annals of Botany* 115, 833–840
<https://doi.org/10.1093/aob/mcv002>
- Mortimer, R.J.G., Galsworthy, A.M.J., Bottrell, S.H., Wilmot, L. E., Newton, R. J., 2011. Experimental evidence for rapid biotic and abiotic reduction of Fe (III) at low temperatures in salt marsh sediments: a possible mechanism for formation of modern sedimentary siderite concretions. *Sedimentology*, 58, 1514–1529.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/123608>
- Mukhlisi, M., Nuryani, A., Sayektiningsih, T., 2020. Monitoring of floristic composition and species diversity an initial step towards the restoration of mangrove forest in teluk adang nature reserve, indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies* 30, 793–802.
- Nóbrega, G. N., 2013. Blue Carbon em solos de manguezais do semiárido: importância, métodos de quantificação e emissão de gases C-CO₂. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Fortaleza, Universidade Federal do Ceará.
- Nguyen, H.T., Stanton, D.E., Schmitz, N., Farquhar, G.D., Ball, M.C., 2015. Growth responses of the mangrove *Avicennia marina* to salinity: development and function of shoot hydraulic systems require saline conditions. *Annals of Botany*.
<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcu257>.
- Oliveira, A. B., Rizzo, A. E., Couto, E. C., 2013. Assessing decomposition rates of *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* leaves in a tropical mangrove. *Estuaries and Coasts* 36, 1354–1362. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9627-y>
- Pan, F., Liu, H., Guo, Z., Li, Z., Wang, B., Cai, Y., Gao, A., 2019. Effects of tide and season changes on the iron-sulfur-phosphorus biogeochemistry in sediment porewater of a mangrove coast. *Journal of Hydrology* 568, 686–702.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.002>
- Pendleton L., Donato D.C., Murray B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S. Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D. Gordon, D., Baldera, A., 2012. Estimation of global “blue carbon” emissions from the conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE* 7.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>
- Pinto, L. M., Vicente, A.F.C., Villaça, I. M., Barçal, R.A.F., Gomes, R.L., Magenta, M.A.G., Giordano, F., 2017. Sequestro de carbono atmosférico no bosque do manguezal da APA da Serra do Guararú, Guarujá-SP, *UNISANTA Bioscience* 6, 51–57.
- Pascoalini, S.S., Tognella, M.M.P., Falqueto, A.R., Soares, M.L.G, 2022. Photosynthetic efficiency of young *Rhizophora mangle* L. in a mangrove in southeastern Brazil. *Photosynthetica* 60, 337–349.
- Portela, M. G., 2019. Estoque de carbono do solo e da biomassa vegetal no Delta do Parnaíba - PI. 2019. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2019.
- Portela, M. G. T., Espindola, G. M., Valladares, G.S., Amorim, J.V.A. Frota, J.C.O., 2020. Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. *Wetlands Ecol Manage* 0123456789, 607–622.
<https://doi.org/10.1007/s11273-020-09735-y>
- Rabelo, T. O., 2018. Geodiversidade em Ambientes Costeiros: discussões e aplicações no setor sudeste da Ilha do Maranhão, MA-Brasil. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia), Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Ragavan, P., Mohan, P.M., Saxena, A., Jayaraj, R.S.C., Ravichandran, K., Saxena, M., 2018. Mangrove floristics of the Andaman and Nicobar Islands: critical review and current scenario. *Marine Biodiversity* 48, 1291–1311.
<https://doi.org/10.1007/s12526-016-0581-3>