



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



BRUNO SOUZA SOARES

**ESTOQUES DE CARBONO EM ORGANOSSOLOS SOB MANGUEZAL NO RIO
MAMANGUAPE - PB**

AREIA

2024

BRUNO SOUZA SOARES

**ESTOQUES DE CARBONO EM ORGANOSSOLOS SOB MANGUEZAL NO RIO
MAMANGUAPE – PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Raphael Moreira Beirigo

Coorientador: Tiago Osório Ferreira

AREIA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S676e Soares, Bruno Souza.

Estoques de carbono em Organossolos sob manguezal no Rio Mamanguape - PB / Bruno Souza Soares. -

Areia:UFPB/CCA, 2024.

34 f. : il.

Orientação: Raphael Moreira Beirigo.

Coorientação: Tiago Osório Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. Conservação ambiental. 3. Áreas úmidas. 4. Serviços ecossistêmicos. 5. Sequestro de carbono. 6. Carbono azul. I. Beirigo, Raphael Moreira. II. Ferreira, Tiago Osório. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

BRUNO SOUZA SOARES

ESTOQUES DE CARBONO EM ORGANOSSOLOS SOB MANGUEZAL NO RIO
MAMANGUAPE - PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovado em: 29 de agosto de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo
Universidade Federal da Paraíba
Orientador



Dr. Rodrigo Santana Macedo
Instituto Nacional do Semiárido
Examinador



Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba

Dedico,

Aos meus pais,

*Edite Maria e Benjamim Soares,
pela dedicação, carinho, amor e ensinamentos,
durante todos os anos de minha vida.*

Aos meus irmãos

*Tiago Soares e Leandro Soares,
pelo amor, carinho, amizade, companheirismo e
incentivo.*

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** pela benção da vida, saúde, pelas oportunidades, pelas conquistas e ser fonte de minha felicidade, entusiasmo e esforço e por te me dado discernimento nas situações intempéricas que passei.

A minha família pelo apoio, dedicação e carinho.

A Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela formação acadêmica e oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo.

A meu orientador, prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo pela orientação, ensinamento, paciência, respeito, amizade, competência e profissionalismo.

A Universidade de São Paulo, em especial, ao campus Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), e ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, por ter me dado a oportunidade de ter cursado a disciplina de “Gênese e Morfologia do Solo”, na qual foi muito importante para meu conhecimento acerca da pedologia.

Aos profs. Drs. Pablo Vidal Torrado, Igor Lepsch e a prof^{ta}. Dra. Selma Simões de Castro pelos conhecimentos transmitidos da disciplina da qual cursei. Ao prof. Dr. Tiago Osório Ferreira pela gentileza em ter me recebido em seu ambiente de trabalho.

Aos companheiros e colegas da “salinha” Hermano, Danilo e Lucas, pelo auxílio, apoio e amizade durante a minha estadia na USP/ESALQ e na cidade de Piracicaba.

Ao departamento de Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus Vitória da Conquista, em especial ao meu amigo e personalidade ilustre, prof. Dr. Espedito Maia Lima, pelo incentivo na minha iniciação científica na área da geografia física e solos.

Aos meus amigos de pós-graduação João, Joseilton, Liliane, Marco Aurélio, Raimundo, Samuel, Safira pela convivência e amizade.

Ao Dr. Rodrigo Macedo pelo apoio, amizade e incentivo nessa luta árdua.

Ao doutorando Victor Félix (“Índio”) que me estendeu as mãos em muitos momentos difíceis e sempre me apoiando nessa jornada intempérica.

A José Alfredo Nunes pela disponibilidade de dados para execução do trabalho.

Aos meus amigos Arthur e Jacson (“Jal”), duas figuras que tenho uma grande estima e, nas vezes que estava no estado da Bahia, fazíamos nossas cervejadas e entre conversas e resenhas, me permitia recuperar as energias.

Ao Eder (“Mineiro”), ao Paulo (“Primo”) e ao “Serjão” pela amizade e que de fato foi a minha família piracicabana, tanto nas horas de boemia como nos conselhos acadêmicos e da vida, meu muito obrigado.

Agradeço também a todos os professores com os quais convivi nesse período de mestrado, por todo ensinamento, paciência e cooperação.

A banca examinadora de defesa do projeto e da dissertação pelas sugestões de correção que muito contribuiu para a melhoria de meu trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

MUITO OBRIGADO!!!

*“Desistir... eu já pensei seriamente nisso,
mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais
chão nos meus olhos do que o cansaço nas
minhas pernas, mais a esperança nos meus passos,
do que a tristeza nos meus ombros, mais a estrada no
meu coração do que medo na minha cabeça”.*

Cora Corolina

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o
que era antes”.*

Martin Luther King

RESUMO

Um dos principais serviços ecossistêmicos dos solos de manguezais são o sequestro e estoque de carbono azul, no qual tem o papel valioso para a preservação ambiental e na mitigação das mudanças climáticas. O termo carbono azul é denominado a ambientes que têm a capacidade de armazenar elevadas quantidade de carbono, quando comparado, a ecossistemas terrestres, encontrados especialmente em manguezais. Dessa forma este estudo tem como objetivo quantificar a matéria orgânica (MOS), carbono orgânico (Corg), carbono inorgânico (CIS) e os estoques de carbono orgânico (ECorg) em solos de mangue. Foram estudadas três áreas de manguezais da Área de Proteção Ambiental (APA) da Barra do rio Mamanguape em Rio Tinto – PB com vegetação de mangue vivo, transição (vegetação morrendo) e com o mangue morto, e os solos são da classe dos Organossolos Tiomórfico Sáprico. Os teores de MOS e CIS foram determinados pelo método de incineração na mufla e o Corg foi determinado por combustão via úmida. A partir do somatório do CIS e Corg foram calculados os ECorg para as três áreas. Houve redução de todos os atributos na área do mangue morto quando comparado com as áreas de transição e mangue vivo. O mangue morto apresentou os seguintes valores médios, MOS 189,34 g kg⁻¹; CIS 2,95 g kg⁻¹; Corg 109,8 g kg⁻¹, e o total de ECorg foi 716,47 Mg ha⁻¹. Na área de transição, os valores foram inferiores a área de mangue vivo e os valores médios foram MOS 187,36 g kg⁻¹; CIS 2,81 g kg⁻¹; Corg 108,67 g kg⁻¹ e o total de ECorg foi 923,14 Mg ha⁻¹. Enquanto o mangue vivo apresentou os maiores valores, e os valores médios estão da seguinte forma MOS 264,87 g kg⁻¹; CIS 6,03 g kg⁻¹; Corg 153,62 g kg⁻¹, e o total de ECorg foi 966,0 Mg ha⁻¹. Estes resultados evidenciam a importância da manutenção e conservação dos ecossistemas de manguezais no que diz respeito a prestação dos serviços ecossistêmicos de sequestro e estoque de carbono orgânico, pois os manguezais são grandes sumidouros de carbono azul. Por isso, deve-se haver políticas públicas de preservação dessas áreas.

Palavras-chave: conservação ambiental; áreas úmidas; serviços ecossistêmicos; sequestro de carbono; carbono azul.

ABSTRACT

One of the main ecosystem services for mangrove soils is the sequestration and stockpiling of blue carbon, none of which is the valuable role for environmental preservation and mitigation of climate change. Blue carbon is termed environments that have the capacity to store high amounts of carbon when compared to terrestrial ecosystems, found especially in mangroves. Thus, this study aims to quantify organic matter (MOS), organic carbon (Corg), inorganic carbon (CIS) and organic carbon stocks (ECorg) in mangrove soils. Three mangrove areas of the Barra do Rio Mamanguape Environmental Protection Area (APA) in Rio Tinto - PB were studied with live mangrove, transition (dying vegetation) and dead mangrove, and the soils are of the class of Sapric Thiomorphic Histosols. The MOS and CIS contents were determined by the muffle incineration method and Corg was determined by wet combustion. From the sum of CIS and Corg the ECorg were calculated for the three areas. There was a reduction in all attributes in the dead mangrove area when compared to the transition and live mangrove areas. Dead mangrove had the following mean values, MOS 189.34 g kg⁻¹; CIS 2.95 g kg⁻¹; Corg 109.8 g kg⁻¹, and the total of ECorg was 716.47 Mg ha⁻¹. In the transition area, the values were lower than the live mangrove area and the average values were MOS 187.36 g kg⁻¹; CIS 2.81 g kg⁻¹; Corg 108.67 g kg⁻¹ and total ECorg was 923.14 Mg ha⁻¹. While the live mangrove showed the highest values, and the average values are as follows MOS 264.87 g kg⁻¹; CIS 6.03 g kg⁻¹; Corg 153.62 g kg⁻¹, and the total of ECorg was 966.0 Mg ha⁻¹. These results highlight the importance of maintaining and conserving mangrove ecosystems with respect to the provision of ecosystem services for sequestering and storing organic carbon, as mangroves are large sinks of blue carbon. Therefore, there must be public policies for the preservation of these areas.

Keywords: environmental conservation; wetlands; ecosystem services; carbon sequestration; blue carbon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial das florestas dos manguezais e diversidade de espécies florestais no globo terrestre	13
Figura 2 - Localização da AIRE (Área de Relevante Interesse Ecológico) e da APA (Área de Proteção Ambiental) do estuário do rio Mamanguape, Paraíba – Brasil	18
Figura 3 - Foto aérea do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape com a floresta preservada, transição (parte da vegetação morta) e com morte da floresta	19
Figura 4 - Amostragem dos solos das áreas de estudo na AIRE da APA do rio Mamanguape	20
Figura 5 - Imagens aéreas de VANT	22
Figura 6 - Valores do potencial de oxi-redução (Eh) dos Organossolos das três áreas com o mangue vivo, na transição e mortono manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB	24
Figura 7 - Lagoas área com morte da floresta de mangue na APA da Barra do rio Mamanguape-PB	25
Figura 8 - Teores de matéria orgânica do solo (MOS) dos Organossolos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB	25
Figura 9 - Distribuição do carbono orgânico (Corg) dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB	27
Figura 10 - Distribuição do carbono inorgânico (CIS) dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB	28
Figura 11 - Distribuição dos estoques de carbono dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 ECOSISTEMA MANGUEZAL E AS FLORESTAS DE MANGUE.....	12
2.2 MORTE DAS FLORESTAS DE MANGUEZAIS E SUAS CAUSAS	14
2.3 CARBONO AZUL DOS SOLOS DOS MANGUEZAIS	15
2.4 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS OFERECIDOS PELAS FLORESTAS DE MANGUEZAIS E SEUS SOLOS.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO E SELEÇÃO DAS ÁREAS	19
3.3 AMOSTRAGEM E COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO	20
3.4 ANÁLISES DE LABORATÓRIO	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros que se originaram nas regiões dos oceanos Índico e Pacífico, e distribuíram suas espécies pelo mundo com auxílio das correntes marinhas durante o processo da separação dos continentes (Herz, 1987; Alves, 2001), sendo predominantemente intertropicais e cresceram nos deltas de rios, lagoas e complexos estuarinos.

A distribuição espacial na superfície terrestre é de 42% na Ásia, 20% na África, 15% na América do Norte e Central, 12% na Oceania e 11% na América do Sul. Vale destacar que, aproximadamente, 75% da distribuição dos manguezais do planeta encontra-se em 15 países, no qual, o Brasil ocupa a terceira posição (Giri et al., 2011).

Estes ecossistemas ocorrem ao longo da costa nos climas tropical e subtropical, abrangendo mais 70% da zona de transição entre os ambientes continentais e marinhos (FAO, 2007; Donato et al., 2011; Kauffman et al., 2014). Apesar das florestas de mangue ocorrerem em apenas 0,1% da superfície terrestre, os solos têm elevada capacidade de estocar carbono, superior aos outros biomas com florestas (Donato et al., 2011; Atwood et al., 2017).

Os manguezais estão entre as áreas mais produtivas do mundo e desempenham várias funções ambientais e serviços ecossistêmicos. Devido a grande importância que esses ecossistemas têm do ponto de vista ambiental, econômico e social, é um ambiente que se encontra sob grande pressão antrópica.

Os manguezais proporcionam serviços ecossistêmicos para as populações costeiras que vivem próximas aos manguezais, desde atividades econômicas associadas à pesca e ao turismo até as relacionadas ao patrimônio cultural e paisagístico (Thiagarajah et al., 2015), tais serviços se estendem para além dos limites geográficos dos manguezais.

São locais de obtenção de fontes de alimentos e renda para as populações locais. Além disso, este ambiente é responsável pela transferência de matéria orgânica e energia da terra para o mar, fornecendo a base para a vida terrestre e marinha.

Os solos de manguezais do estado da Paraíba ainda são poucos conhecidos. Apesar das funções ambientais essenciais desses solos, com a prestação de vários serviços ecossistêmicos que se estendem para além de seus limites geográficos, e dentre eles o sequestro e estoque de carbono no solo são os mais importantes (Atwood et al., 2017). Os ecossistemas de manguezais têm grande capacidade de sequestrar e estocar carbono, o que torna este ambiente especial consequentemente a preservação dele é de fundamental

importância. O sequestro e o estoque de carbono são importantes, pois impede e/ou mitiga possíveis alterações climáticas.

O sequestro de carbono nos manguezais é de cerca de 25,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Eong, 1993) e o estoque de carbono é de 1,023 Mg ha⁻¹. Portanto, os manguezais são a floresta mais rica em carbono dos trópicos (Donato et al., 2011). Consequentemente, são necessários estudos com foco na caracterização dos processos pedogenéticos e das funções ambientais e serviços ecossistêmicos destes solos, para subsidiar o planejamento e monitoramento ambiental dos manguezais que ocorrem na Paraíba.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar o serviço ecossistêmico de estoque de carbono em solos de manguezal do estado da Paraíba, com a floresta preservada, transição (morrendo) e morta. A hipótese desta dissertação foi que os solos das áreas de manguezal da área de preservação ambiental (APA) da Barra do rio Mamanguape onde ocorreram à morte da floresta de mangue estocam menos carbono em relação aos solos com a floresta preservada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ECOSSISTEMA MANGUEZAL E AS FLORESTAS DE MANGUE

Os ecossistemas de manguezais encontram-se na transição entre os ambientes terrestres e marinhos. Ocorrem nas costas litorâneas das regiões tropicais e subtropicais cobrindo uma área de quase 20 milhões de hectares no mundo (FAO, 2007; Donato et al., 2011; Kauffman et al., 2014). São ecossistemas muito produtivos que oferecem inúmeros bens e serviços ecossistêmicos para a sociedade (FAO, 2007).

Esta zona de transição desempenha um papel fundamental na captura de sedimentos trazidos por terra e das partículas em suspensão provenientes dos rios estabilizando as zonas costeiras. As florestas de manguezais são responsáveis pela transferência de matéria orgânica e energia da terra para o mar, fornecendo a base para a vida terrestre e marinha.

A floresta de manguezal possui uma densa rede de raízes que fornece abrigo para muitas espécies marinhas (peixes, caranguejos, camarões e moluscos) e terrestres (aves, insetos, répteis, mamíferos e anfíbios). Elas também representam locais de nidificação e viveiro para muitos animais, além de servirem como poleiro para aves migratórias. Além disso, as florestas de manguezais protegem os recifes de coral e a grama do mar de serem sufocadas por sedimentos (Jiménez et al., 1985).

Os ecossistemas de manguezais também são importantes nos aspectos econômicos, sociais e culturais. Eles são fonte de alimentos (peixe, molusco, camarão e caranguejo), produtos madeireiros, combustível, fonte de produtos vegetais, além do conhecimento ecológico tradicional e etnobiologia dessas comunidades. Este ecossistema possui características únicas que favorecem o turismo devido à abundância de vida selvagem e proximidade com outras atrações turísticas, como praias e recifes de coral (Schaeffer-Novelly, 1999).

Apesar da sua importância socioeconômica, aproximadamente, 30 a 50% dos manguezais foram perdidos pela atividade antrópica nas últimas décadas (Duke et al., 2007; Caldeira, 2012). Cerca de 15,2 milhões de hectares estão sob alta pressão antrópica e essa influência humana está aumentando. A colheita comercial da floresta, o turismo, a agricultura, a aquicultura e o elevado desenvolvimento costeiro são os principais agentes responsáveis por essas perdas (Giri et al., 2011).

Os manguezais encontram-se em, aproximadamente, 160.000 km² de extensão no globo terrestre (Figura 1). Estão localizados no litoral brasileiro, desde o estado no Amapá até Santa Catarina, ocorrendo em todo o litoral nordestino.

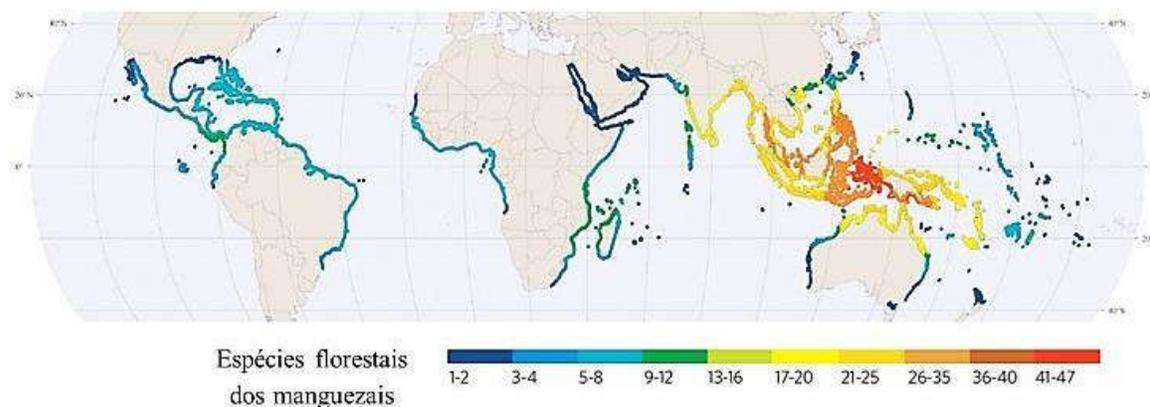


Figura 1. Distribuição espacial das florestas dos manguezais e diversidade de espécies florestais no globo terrestre.

A diversidade da distribuição espacial das espécies de mangue e a área ocupada pelos manguezais diminuiu a uma taxa maior do que outros biomas do mundo (Balmford et al., 2002). A perda dos manguezais se dá por atividades antrópicas e econômicas, como a carcinicultura, a expansão imobiliária e a salinicultura. Os manguezais também são afetados pelo lado marítimo, com o aumento do nível do mar provocado pelas mudanças climáticas globais (Costa, 2016). No entanto, os manguezais ainda recebem pouca atenção dos formuladores de políticas governamentais e muitas áreas significativas desse ecossistema

ainda não foram estudadas em todo o mundo. É necessário muito esforço para conservar e preservar esse ecossistema. A preservação do mangue depende da compreensão dos processos ecológicos que o sustentam adicionado à sua restauração.

Neste contexto, os processos pedogenéticos desempenham papel fundamental nos processos ecológicos relacionados aos ciclos biogeoquímicos do carbono, ferro, manganês, enxofre, nitrogênio e fósforo (Kristensen et al., 2008; Nóbrega et al., 2014; Otero et al., 2017). Os principais processos pedogenéticos associados ao ecossistema de mangue são a paludização, a sulfidização, a gleização e a bioturbação (Ferreira et al., 2007, Gomes et al., 2016). Seus solos são classificados como Gleissolos e Organossolos (Ferreira et al., 2007).

2.2 MORTE DAS FLORESTAS DE MANGUEZAIS E SUAS CAUSAS

A morte das florestas de manguezais pode ocorrer de forma natural ou em massa. A mortalidade natural está associada a interação das espécies com o ambiente, independente de mudanças climáticas drásticas, principalmente, em decorrência de processos competitivos inter ou intra-específica, herbivoria, doenças endêmicas e esclerose (Jiménez et al., 1985).

A mortalidade em massa das florestas de manguezais pode ocorrer também devido a ocorrência de eventos ambientais extremos, como tsunamis e furacões. No Brasil, não há registros de mortes de mangue devido a esses eventos ambientais extremos. Estes podem ter efeito direto na destruição dos manguezais, pois atingem as raízes do mangue. Entretanto, efeitos indiretos também podem levar a destruição dos mangues, como o assoreamento e a inundação, que podem ser causados por atividades antrópicas (Jiménez et al., 1985).

Alguns processos geomorfológicos, como as ondas e as atividades das marés, que ocorrem na área de mangue contribuem para a mortalidade das florestas deste ecossistema. Esses processos influenciam de forma conjunta aos períodos de transgressão marinha que faz com que aconteça erosão marinha na margem em direção ao mar das florestas de manguezais. Essa erosão faz com que aconteça a queda de árvores e, conseqüentemente, a morte destas (Jiménez et al., 1985).

Processos naturais levam a morte das florestas de manguezal, mas os impactos ambientais negativos mais intensos nestas áreas são de origem antrópica, pois degradam as florestas de manguezais a ponto de causar sua morte, por meio de intensa urbanização a partir de alta especulação imobiliária, e a exploração de atividades econômicas, como a aquicultura, a agricultura, a exploração madeireira e a indústria pesqueira (ICMbio, 2018).

A degradação das florestas de manguezal leva a redução dos estoques de dióxido de carbono (CO₂), e este acaba sendo volatilizado para a atmosfera contribuindo para mudanças climáticas. Os principais países com maior potencial anual de emissões de CO₂ devido ao

desmatamento dos mangues são: Indonésia (3.511 Gg CO₂ ano⁻¹), Malásia (1.288 Gg CO₂ ano⁻¹), Estados Unidos (206 Gg CO₂ ano⁻¹) e Brasil (186 Gg CO₂ ano⁻¹) (Atwood et al., 2017). O Brasil e a Indonésia têm estado no centro de muitos debates sobre essa realidade uma vez que, combinados, respondem por 55% das emissões totais dos desmatamentos em áreas tropicais (Harris et al., 2012).

2.3 CARBONO AZUL DOS SOLOS DOS MANGUEZAIS

Nos manguezais encontram-se elevadas concentrações de um tipo especial de carbono, denominado carbono azul. Este carbono é encontrado na biomassa viva acima do solo, como folhas e caules, e na biomassa viva subterrânea (raízes) e na biomassa não viva (serapilheira e madeira morta). O carbono azul retido em áreas costeiras é diferente daquele armazenado em ecossistemas terrestres, pois o sequestro do carbono nas áreas costeiras é mais extenso e permanecem por mais tempo no ambiente (séculos a milênios), isso leva ao elevado estoque de carbono (Duarte et al., 2005; Lo Iacono et al., 2008; Mcleod et al., 2011).

Kauffman e Bohmia (2017) avaliando os estoques de carbono no solo e na floresta dos ecossistemas de manguezais no Centro Oeste da África, verificaram que 84% do carbono está estocado no solo.

Os valores médios globais encontrados em 158 áreas de amostras contabilizaram 885 Mg ha⁻¹, visto que a variação dos estoques de carbono das áreas estudadas no continente africano, variou de 154 a 1382 Mg ha⁻¹. Esses valores evidenciam o quanto é importante os valores encontrados no manguezal da área de estudo da dissertação, pois os valores menores, que são das áreas da morte das florestas, apresentaram valores maiores do que o mínimo visto na variação da pesquisa citada.

Ambientes costeiros, como os manguezais, apresentam solos saturados com água no qual o ambiente encontra-se em estado anaeróbico (estado de baixa a nenhuma concentração de oxigênio), levando ao sequestro de carbono em elevadas taxas e o armazenamento a longo prazo. Enquanto que em solos de outros ecossistemas terrestres que não ocorrem em áreas úmidas, o carbono fica em sistema influenciado pelo oxigênio, no qual este elemento oxida o carbono microbiano aeróbico que volatiliza para a atmosfera (Schlesinger e Lichter, 2001; Duarte et al., 2005; Lo Iacono et al., 2008), ou seja, o carbono é liberado para a atmosfera com maior facilidade, sendo pouco eficiente como sequestrador de carbono.

2.4 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS OFERECIDOS PELAS FLORESTAS DE MANGUEZAIS E SEUS SOLOS

As florestas de manguezais têm um importante papel ecológico devido os serviços ecossistêmicos oferecidos, onde destaca-se o armazenamento de carbono, berçário para espécies marinhas e para a fauna e proteção contra a erosão (Jónsson e Davídsdóttir, 2016). Além disso, outros serviços ecossistêmicos relevantes prestados pelas florestas de manguezais são: a proteção costeira, matérias-primas e alimentos, controle da erosão, sequestro de carbono, purificação da água, manutenção da pesca, recreação, educação e pesquisa. As comunidades ribeirinhas que estão localizadas nas áreas costeiras, visualizam o manguezal como um ambiente do qual eles podem extrair a sua alimentação, a saúde, a cultura e patrimônio (Walters et al., 2008). Mesmo diante de sua importância, estas florestas encontram-se em estado de degradação, devido ao desenvolvimento da urbanização, mineração e exploração intensa de madeira, peixes, crustáceos e moluscos (Alongi, 2012).

Os serviços ecossistêmicos que os solos proporcionam são de fundamental importância do ponto de vista socioambiental, onde podem ser prestadores de serviços de regulação, pois são capazes de regular os processos (ciclos) em ecossistemas, e/ou de suporte (apoio), pois são serviços necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos. De modo geral, os serviços prestados pelos solos são: o sequestro de carbono, a regulação climática, a decomposição e a desintoxicação de resíduos, a imobilização e a desintoxicação de poluentes, purificação de água e ar, regulação do fluxo de água (alagamento e inundações), controle de pragas e doenças, formação do solo, ciclagem de nutrientes, ciclagem da água, produção primária e habitat para a biodiversidade (De Groot et al., 2002; MEA, 2003; Smith et al., 2015).

Estes serviços estão relacionados de forma direta ou indireta às características dos solos desses ambientes e aos processos pedogenéticos atuantes, tais como: *paludização*, *sulfidização* e *gleização* por exemplo (Vidal-Torrado e Ferreira, 2017). Os solos de manguezal estão classificados como Gleissolos e Organossolos (Ferreira et al., 2007).

O Organossolo é uma classe de solo formado por material orgânico, por isso, possuem elevados teores de carbono orgânico e são importantes no que se refere a estocagem de carbono nos manguezais. Este podem melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, tais como o armazenamento de nutrientes (serviço de suporte), capacidade retenção de água (serviço de apoio e regulação), agregação e sorção de poluentes orgânicos e inorgânicos (serviços de regulação). O elevado teor de carbono orgânico no solo de manguezal se deve ao sequestro de carbono, que é uma maneira econômica e ambientalmente saudável de armazenar não apenas carbono no solo como melhorar outros serviços ecossistêmicos derivados do solo, como produção agrícola, abastecimento de água potável e biodiversidade (Smith et al., 2015).

Devido aos grandes teores de material orgânico na formação dos Organossolos pode-se pressupor por meio desse atributo que o principal serviço ecossistêmico dessa classe de solo é o sequestro de carbono, e conseqüentemente a acumulação de carbono (serviço de regulação climática), e de importância global. Em ambiente de manguezal, o potencial de valoração da prestação deste serviço ecossistêmico está relacionado ao estabelecimento de uma área estritamente protegida para manter a biodiversidade local; levando a proteção das fontes hídricas, evitando a emissão de gases efeito estufa (GEE) provenientes da conversão desses habitats, além de aumentar seu potencial turístico (Dominati et al., 2010; MEA, 2005). Estima-se que carbono orgânico aprisionado no solo por meio de seu sequestro é muito representativo, sendo de aproximadamente, 500 bilhões de toneladas (FAO, 2015).

O sequestro de carbono é um dos serviços ecossistêmicos contemplados pelos Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), proposto no Protocolo de Quioto, na Convenção do Clima (ou Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, UNFCCC), permitindo a valoração e implementação de pagamento por esse serviço ao produtor rural. Pois, o MDL tem como objetivo auxiliar os países industrializados a cumprir suas metas de limitação e redução de emissões de GEE e, ao mesmo tempo, ajudar os países em desenvolvimento com a realização de projetos que reduzam suas emissões, segundo o princípio da adicionalidade. Estes projetos seriam financiados e executados por países ricos em países em desenvolvimento (MEA, 2005; Rodrigues Filho e Santos, 2011).

As florestas de manguezais são aquelas que mais sequestram carbono nos trópicos, e com o avanço do impacto ambiental neste ecossistema, este carbono pode ser volatilizado para a atmosfera, causando alterações no clima e devido a isso foram criados acordos internacionais como “Redução de emissões por desmatamento e degradação” (REDD). Essa iniciativa tem como objetivo manter as reservas de carbono no ambiente como incentivos financeiros para a conservação do ecossistema, no qual foi estabelecido como “crédito de carbono”. Existem distintos métodos para se avaliar o valor econômico dos serviços de regulação climática, como o sequestro de carbono. Normalmente, esses métodos são baseados no custo do sequestro de carbono baseado no preço de mercado de suas cotas; o custo de mercado dos métodos de sequestro; ou experimentos de escolha ilustrando a vontade de pagar pelo aumento do sequestro de carbono no solo; em 2012, os valores variavam de \$ 20 a \$ 268 ha⁻¹ ano⁻¹ (Donato et al., 2011; Jónsson e Davídsdóttir, 2016).

Os serviços ecossistêmicos são de grande valia para os ecossistemas com um todo, com destaque para o ecossistema de manguezal e existe um pagamento para os serviços ambientais prestados por este ecossistema, que nada mais é uma compensação financeira pelo bom uso e manejo, no qual tanto a sociedade quanto a área ecológica se beneficiam.

Em médio prazo, ou seja, nas próximas décadas, a procura por serviços ecossistêmicos deve aumentar em busca da melhoria na qualidade de vida (ICMBIO, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na Área de Preservação Ambiental (APA) da Barra do Rio Mamanguape, especificamente na Área de Relevante Interesse Ecológico (AIRE), denominada de área de manguezal, no estado da Paraíba, Brasil (Figura 2). Essa unidade de conservação federal de gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) e possui área de 5.769,54 hectares (BRASIL, 1993).

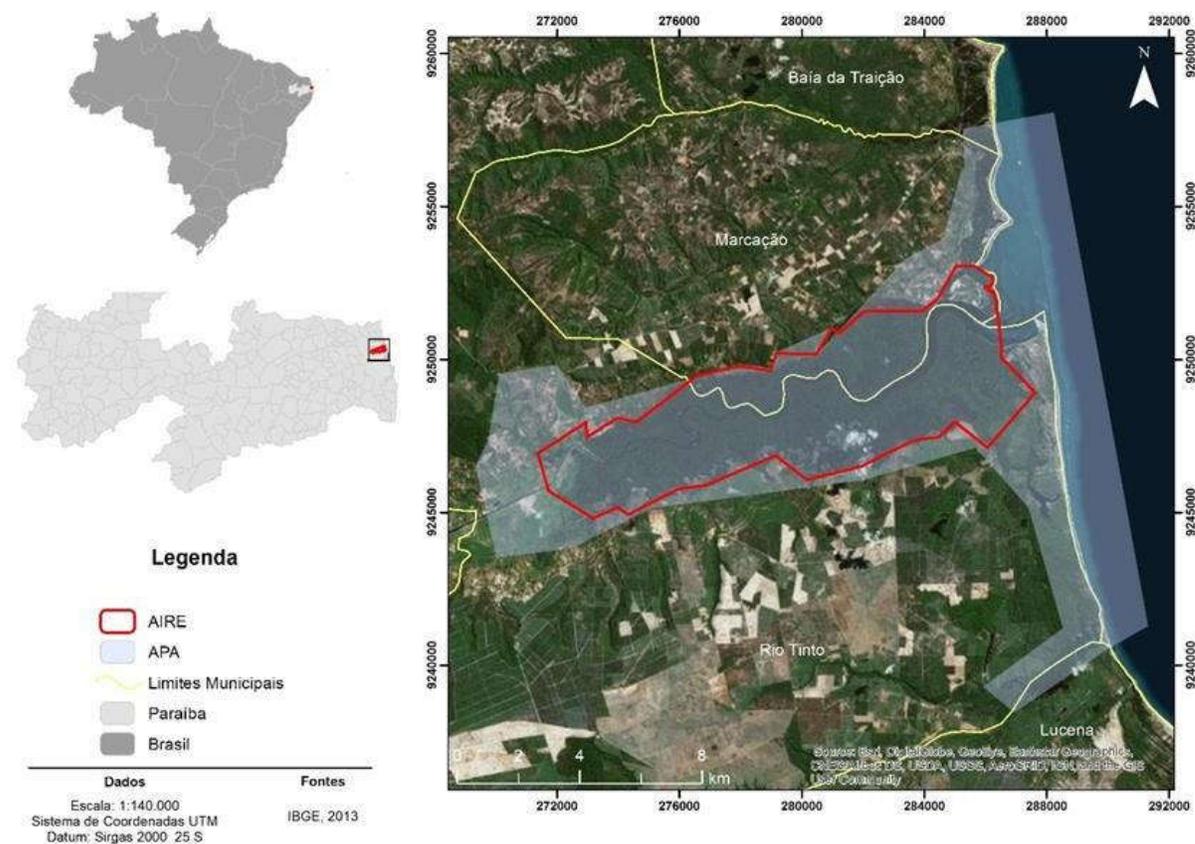


Figura 2. Localização da AIRE (Área de Relevante Interesse Ecológico) e da APA (Área de Proteção Ambiental) do estuário do rio Mamanguape, Paraíba – Brasil.

Os manguezais da AIRE estão inseridos na unidade geomorfológica das planícies fluvio-marinhas (PERH-PB, 2006) e na unidade geológica dos aluviões e sedimentos de praia da era Cenozóica e do período Quaternário (Santos et al., 2002).

As principais classes de solos são Gleissolos Tiomórficos Órticos Sálidos e Organossolos Tiomórficos Sápricos (Nunes e Beirigo, 2017), os solos das três áreas estudadas são Organossolos.

A vegetação é composta pelas seguintes espécies de mangue: *Avicennia schaueriana* L., *Laguncularia racemosa* L. Gaertn.f. (Combretaceae) e *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), esta última espécie apresenta maior dominância e densidade relativa em relação às demais espécies (Bernini et al., 2016).

O clima da região é do tipo As (Tropical, com período seco no verão), conforme classificação de Köppen A temperatura média mínima nos meses mais frios é de 24,0 °C em julho e 23,9 °C em agosto e a máxima dos mais quentes em dezembro 27,2 °C e janeiro 27,1 °C e a umidade relativa média do ar é 78%. A insolação média é de 2800 h e a precipitação média anual de 1560 mm, com concentração das chuvas entre os meses de março e julho (Alvares et al., 2013; Diniz et al., 2018).

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO E SELEÇÃO DAS ÁREAS

A partir de imagens de alta resolução espacial do *Google Earth* foi observada a área no todo e selecionada áreas em diferentes estados de preservação e sobreposição ao mapa de solos da região em nível exploratório (Nunes e Beirigo, 2017). Nas áreas selecionadas foram realizados voos com Veículo Aéreos Não Tripulados “drone” (modelo Phantom 4, DJI®) e obtidas imagens em um transecto, selecionada e georreferenciada uma área com: a) Floresta preservada; 2) Transição-morte parcial da vegetação de floresta e 3) Morte total da vegetação de floresta (Figura 3).



Figura 3. Foto aérea do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape com a floresta preservada, transição (parte da vegetação morta) e com morte da floresta.

3.3 AMOSTRAGEM E COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

Durante a etapa de verificação dos pontos de controle foram realizadas as coletas, descrições e análises dos solos em campo. A coleta de amostra foi realizada com um trado do tipo Napoleão para solos inundados (tubo cilíndrico de aço inox de 1,20 m de comprimento e com uma abertura de 0,08 m de diâmetro e 1,00 m de comprimento) (Figura 4a). Foram realizadas duas amostragens no mesmo ponto de coleta com finalidades distintas (Figura 4b). A primeira amostragem foi realizada para observação e descrição dos horizontes/camadas do solo. A segunda amostragem foi realizada e após a retirada do trado do solo este foi envolvido em filme PVC (policloreto de polivinila), para evitar o contato do solo com o oxigênio do ar e as amostras destinadas à análise de solo. Em seguida foi realizada a medida dos valores de Eh (potencial de redox), pH e T (temperatura) com um aparelho portátil modelo HI 98121 marca Hanna[®], nos horizontes/camadas (Figura 4c).

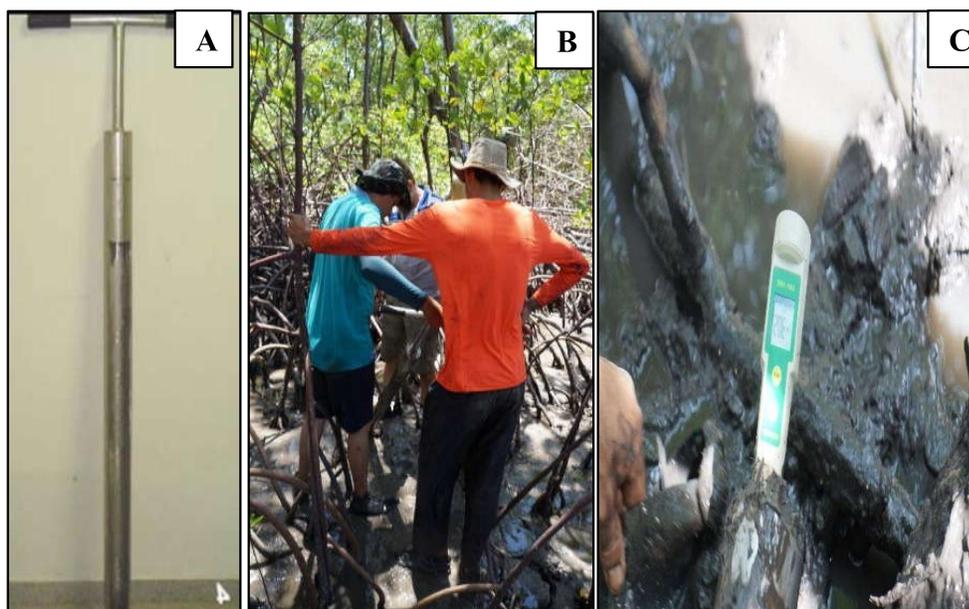


Figura 4. Amostragem dos solos das áreas de estudo na AIRE da APA do rio Mamanguape. (A) amostrador Napoleão para solos inundados; (B) processos de amostragem e (C) determinação do Eh.

As amostras foram coletadas até a profundidade de 1,0 m, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixa de isopor com gelo e mantidas a temperatura ≤ 4 °C. Tal operação foi realizada para assegurar que as propriedades físico-químicas dos solos fossem mantidas até que fossem submetidas às análises laboratoriais. As amostras de solos coletadas foram analisadas nos laboratórios de Geologia e Mineralogia do Solo, Matéria Orgânica do Solo e no de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, campus Areia.

3.4 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Para determinação da presença de caráter As Inicialmente na primeira etapa de análises, o pH das amostras foi medido, onde em um recipiente plástico foi pesado 2,5 g de solo e adicionado 2,5 ml de água destilada, fazendo assim uma concentração do tipo 1:1, em seguida todas as amostras foram submetidas ao teste para verificação de matérias sulfídricas (Donagemma et al., 2011), que consistiu em adicionar ± 10 g de solos de cada amostra em uma placa de petri e manter as mesmas em capacidade de campo por 60 dias com água destilada, para que após esse período o pH dessas amostras fossem analisados. As análises de matéria orgânica do solo (MOS), carbono inorgânico do solo (CIS), carbono orgânico total (COT) foram realizadas para avaliação do estoque de carbono nos três perfis de solo de manguezal.

A MOS e o CIS foram determinados pelo método mufla (perda de carbono na forma de CO₂ por incineração) proposto por Goldin (1987) com modificações de Rodella e Alcarde (1994). Foram pesadas 10 g de amostra em balança de precisão de 4 casas decimais. Em seguida, o material foi colocado em cadinhos de porcelana e levados a estufa para remoção da umidade por 24 h à 105 °C. Após este período, o material foi novamente pesado e levado para a mufla onde foi queimado a 600 °C durante 8 h. A MOS foi determinada pela perda de massa do resíduo incinerado. Para obtenção do CIS, o material foi queimado em mufla por mais 8 h à temperatura de 800 °C. A MOS e o CIS, ambos dados em g kg⁻¹, foram obtidos conforme as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$MOS = \{[(MS_{105\text{ }^{\circ}C}) - MS_{600\text{ }^{\circ}C}]/(MS_{105\text{ }^{\circ}C})\} \times 1000 \quad (1)$$

$$CIS = \{[(MS_{600\text{ }^{\circ}C}) - MS_{800\text{ }^{\circ}C}]/(MS_{105\text{ }^{\circ}C})\} \times 0,273 \times 1000 \quad (2)$$

Onde MS_{105 °C} é a massa do solo a 105 °C, MS_{600 °C} é a massa do solo a 600 °C, MS_{800 °C} é a massa do solo a 800 °C, 0,273 é o fator de correção usado para converter massa de CO₂ em massa de carbono (Wang et al., 2011).

Para transformar a MOS em Corg, dividiu-se os valores de MOS pelo fator 1,724 proposto por Van Bemmelen. O carbono total (CT) foi obtido pelo somatório do Corg e do CIS.

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro por meio de amostras indeformadas, em laboratório as amostras foram secas em estufa a 105 °C e posteriormente pesadas (Grossman e Reinsch, 2002).

A partir dos resultados obtidos dos teores de CT e da densidade do solo (Ds), foram determinados os estoques de carbono total (ECT) em Mg ha⁻¹, para cada profundidade

amostrada pela Equação 3 proposta por Mckenzie et al. (2000), onde E é a espessura da camada.

$$ECT = CT \times Ds \times E \quad (3)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas várias áreas com ocorrência de morte da floresta de mangue na AIRE da APA da barra do rio Mamanguape. Algumas das causas diretas da morte da vegetação são antrópicas, devido a remoção da vegetação para carcinicultura, obtenção de madeira e outras atividades que ainda precisam ser melhor investigadas, como as associadas a proximidade com as áreas de produção de cana-de-açúcar (Figura 5).

O desmatamento na área desse estudo é comum por meio da extração de madeira, usada para serviços domésticos e produção de carvão, causando desequilíbrio ambiental na região. No entanto, apesar dessa atividade ser danosa aos manguezais, quando comparada a carcinicultura, o impacto ambiental menor (Silvestre et al., 2011).

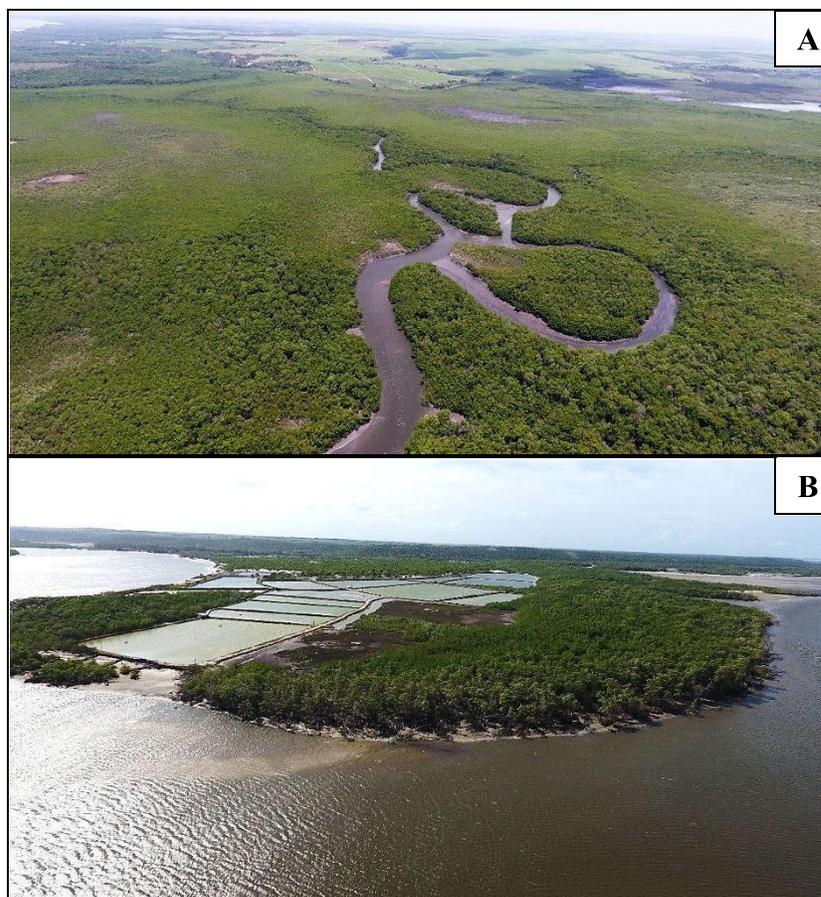




Figura 5. Imagens aéreas de VANT. A= Vista geral AIRE da APA da barra do rio Mamanguape-PB; B= Carcinicultura na margem esquerda do rio Mamanguape, próximo ao estuário e C= áreas de produção de cana-de-açúcar no limite sudoeste da AIRE.

A carcinicultura é um problema socioambiental de grave para a conservação dos manguezais, pois causam impacto ambiental direto nas áreas de produção, devido a remoção da vegetação e as mudanças na hidrogeoquímica dos solos (Nóbrega et al., 2013 e 2014)

Essa atividade econômica é muito viável para os produtores de camarão, pois os investimentos tecnológicos são mínimos. Isso desencadeia sérios problemas ambientais nos manguezais, como o descarte indevido de efluentes oriundos da carcinicultura, como altos teores de nitrogênio, fósforo, zinco, entre outros elementos (Queiroz et al., 2020).

As perdas de manguezais numa escala global têm algumas hipóteses que os manguezais sofrem e que podem ser aplicados em uma escala local, no caso específico, a degradação na AIRE dos manguezais do rio Mamanguape. Uma das hipóteses é que a degradação ambiental dos manguezais acontece devido a proximidade com uma maior acumulação humana ocasionada pela não ter uma educação ambiental a respeito da importância dos manguezais. Com isso, as práticas de manejo de controle do pH, como uso de corretivos, fertilização com fósforo (P), antibióticos e metais pesados da ração alteram a hidrogeoquímica dos solos das áreas de cultivo e na vizinhança (Turschweel et al., 2020).

Na área desse estudo, as áreas com os valores de potencial redox (Eh) do Organossolo com a floresta de mangue preservada apresentam maiores valores em relação as áreas de transição e com morte da floresta (Figura 6). Principalmente, nas camadas de 0 a 40 cm de profundidade, onde ocorre maior atividade do sistema radicular das árvores e maior bioturbação causada por caranguejos (Ferreira et al., 2007; Gillis et al., 2019).

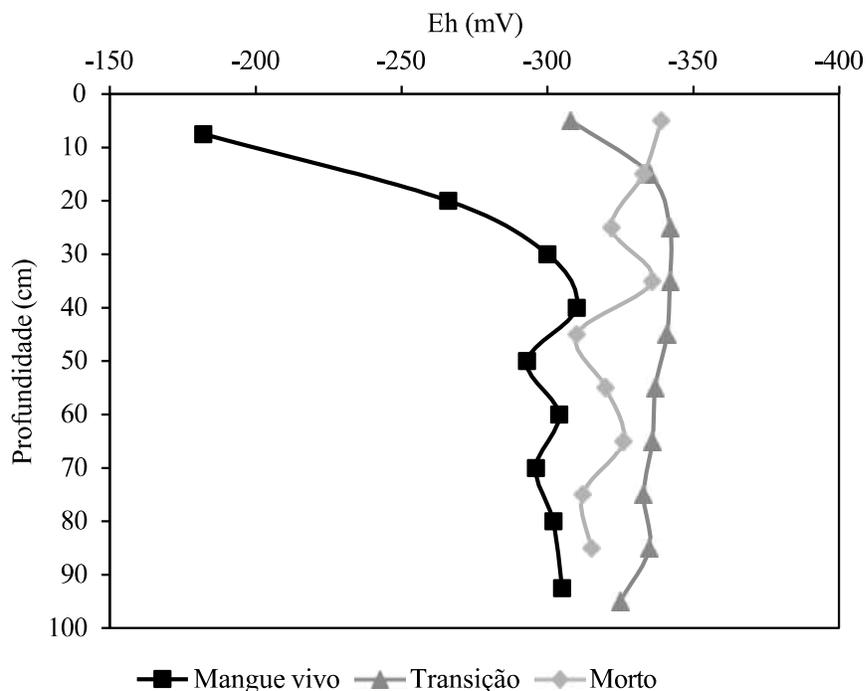


Figura 6. Valores do potencial de oxi-redução (Eh) dos Organossolos das três áreas com o mangue vivo, na transição e morto no manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB.

A hidrologia deste solo tem maior variação em relação aos solos das outras duas áreas, onde o horizonte hístico de 0-10 cm não fica permanentemente inundado. Enquanto, na transição e na área com morte da floresta os solos ficam a maior parte do ano inundados com uma lâmina de água de até 25 cm.

A morte da vegetação causa mudanças na hidrologia e temperatura do solo, mudando a estrutura do ecossistema. A falta de proteção da cobertura vegetal causa maior entrada de insolação e aumento da temperatura da água e do solo, conseqüentemente, reduzindo a difusão de O_2 e gerando um ambiente mais redutor evidenciado pelos menores valores de Eh (Figura 6). Porém, os valores de Eh a partir de 40 cm de profundidade nos solos das três áreas são próximos.

As mudanças na hidrologia com a formação de lagoas e sem a vegetação florestal, a maior entrada de luz na superfície favorece a proliferação de algas (Figura 7).

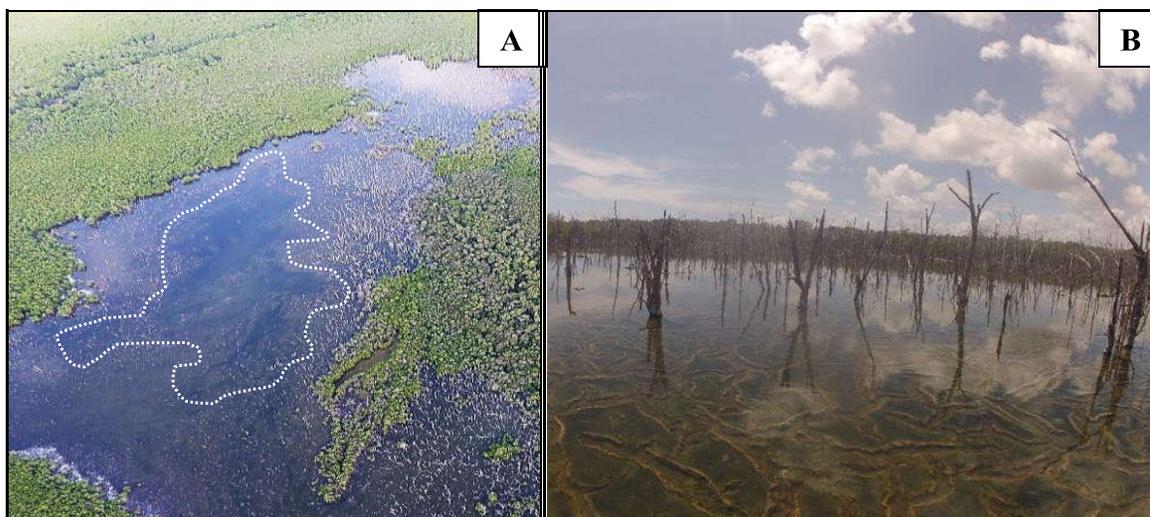


Figura 7. Lagoas formadas em área com morte da floresta de mangue na APA da Barra do rio Mamanguape-PB. A = área com morte, transição e preservada; área delimitada pelo traço pontilhado de cor branca concentração de algas e B = detalhe da presença de crostas formadas pelas algas na superfície do solo.

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) variaram de 234,5 a 319,8 g kg⁻¹ no Organossolo da área com floresta preservada (Figura 8). Os teores totais, até um metro de profundidade, da MOS foram maiores na área viva do mangue (2119 g kg⁻¹) em comparação com a área de transição (1873,6 g kg⁻¹) e com morte da floresta (1704,1 g kg⁻¹). A perda da floresta de mangue causou redução de 414,9 g kg⁻¹ dos teores totais da MOS, cerca de 20% em relação ao Organossolo do mangue vivo.

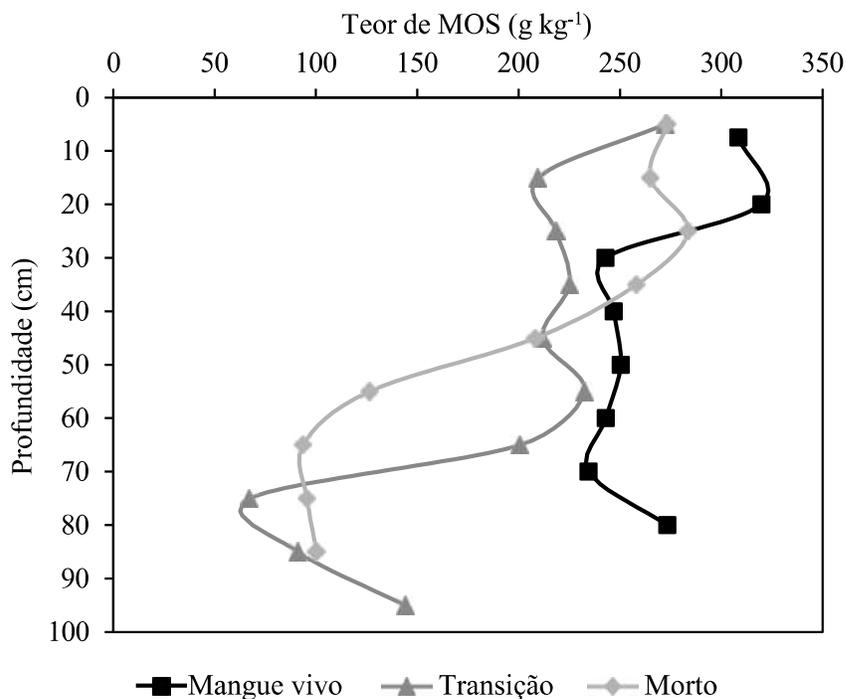


Figura 8. Teores de matéria orgânica do solo (MOS) dos Organossolos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB.

Isso evidencia que a perda das áreas de manguezais, seja por causas naturais ou antrópicas, através de atividades econômicas, vão ocasionar a perda natural do hábitat do manguezal e, conseqüentemente, o não fornecimento dos serviços ecossistêmicos. A diminuição das áreas de manguezais é um problema ambiental de grande impacto, pois o seu principal serviço ecossistêmico, que é o estoque de carbono, pode diminuir ou desaparecer (FAO, 2007).

Os resultados dessa pesquisa mostram que a cobertura vegetal da área é proporcional a quantidade de MOS do solo. Nóbrega et al. (2019) investigaram a importância do carbono azul nos manguezais do semiárido do nordeste brasileiro, e constataram que os manguezais de regiões semiáridas têm menor capacidade de acúmulo de MOS quando comparado aos solos de manguezais de áreas tropicais úmidas, como é o caso deste estudo.

O acúmulo da MOS nos manguezais não só do semiárido, como em todos os manguezais da superfície terrestre ocorre devido ao metabolismo anaeróbico predominante na área e a alta produtividade dos manguezais na área (Nóbrega et al., 2019). Enquanto em manguezais de áreas úmidas, que em grande parte do tempo vive em ambiente alagado, no qual a oxidação da MOS é mais lenta e os processos pedogenéticos de paludização e bioturbação influenciam para o acúmulo dessa MOS no manguezal em áreas mais profundas do perfil do solo, principalmente onde a cobertura vegetal é mais presente, ou seja, menor emissão de CO₂ e maior acúmulo de material orgânico.

A matéria orgânica no solo tem um papel fundamental na estocagem de carbono em áreas de manguezais. A preservação deste ambiente faz com que não haja rotatividade de matéria orgânica por meio de processos biogeoquímicos, que é favorecido pelas condições de redução, e tem a capacidade de fazer com que os manguezais sejam importantes sumidouros globais de carbono (Reddy e DeLaune, 2008).

Os teores de carbono orgânico (Corg) no Organossolo do mangue vivo que variaram de 136,7 a 185,5 g kg⁻¹ e o total do Corg foi 1229,0 g kg⁻¹ (Figura 9). Na transição, os teores variaram de 39,8 a 158,1 g kg⁻¹, e na área com morte de 54,3 a 164,5 g kg⁻¹, e os totais foram 1086,70 g kg⁻¹ e 988,3 g kg⁻¹, respectivamente.

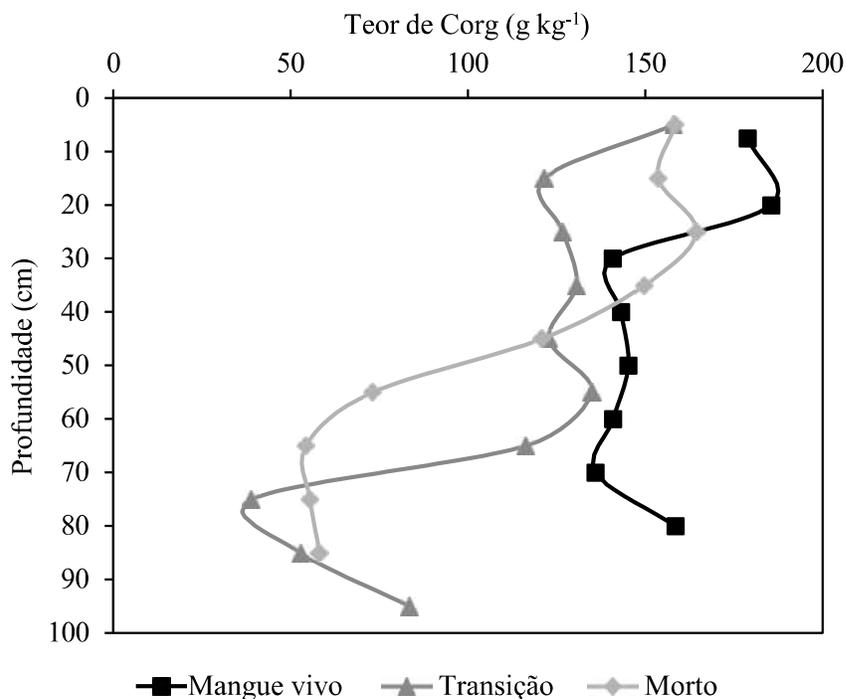


Figura 9. Distribuição do carbono orgânico (Corg) dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB.

A redução dos teores de Corg no solo da área com morte em relação a área com o mangue vivo foram de $301,76 \text{ g kg}^{-1}$, cerca de 20% de perda de Corg (Figura 9). Não se sabe, se essa perda teve causa natural ou antrópica, esta última é a mais comum, devido a lucratividade que é a implementação de atividades econômicas em áreas de mangue.

Os teores de carbono inorgânico (CIS) variaram de $1,94$ a $16,56 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 10) e o total foi $48,25 \text{ g kg}^{-1}$ no solo da área com floresta preservada. Na transição variaram de $0,93$ a $7,88 \text{ g kg}^{-1}$, e no solo da área com morte da floresta oscilou entre $1,64$ a $6,16 \text{ g kg}^{-1}$, e o total foi $28,14 \text{ g kg}^{-1}$ e $26,60 \text{ g kg}^{-1}$, nessa ordem. Houve redução dos teores de CIS do Organossolo do mangue vivo para as áreas com morte da vegetação. Os teores mais elevados de CIS no mangue vivo pode estar relacionado a presença de carbonato de cálcio (parte de crustáceos ou conchas).

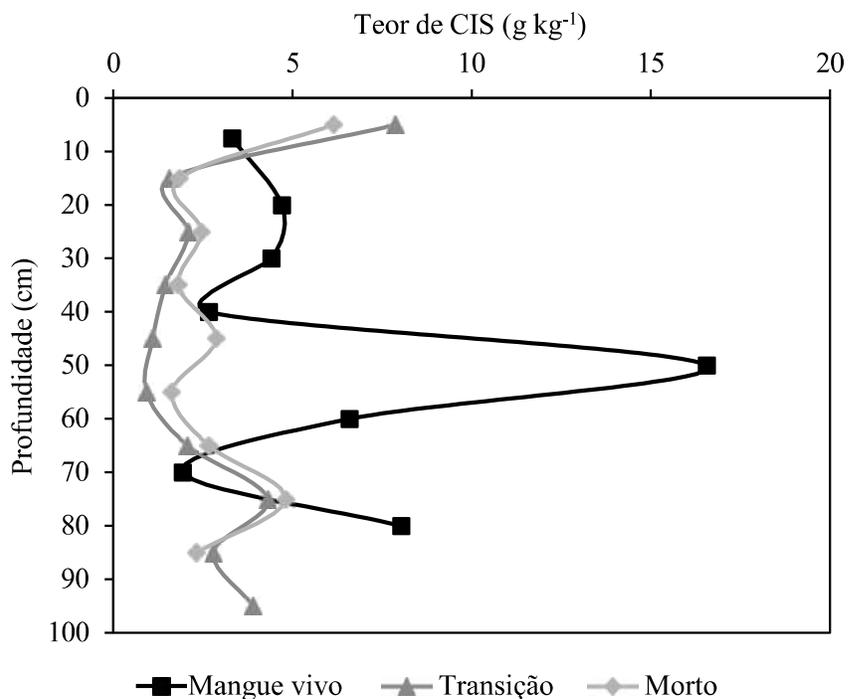


Figura 10. Distribuição do carbono inorgânico (CIS) dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB.

Os estoques de carbono total (ECT) a partir do somatório dos teores de Corg e CIS foram de $966,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ no solo da floresta preservada, de $923,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ na transição e de $716,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ na área com morte da floresta de mangue (Figura 11).

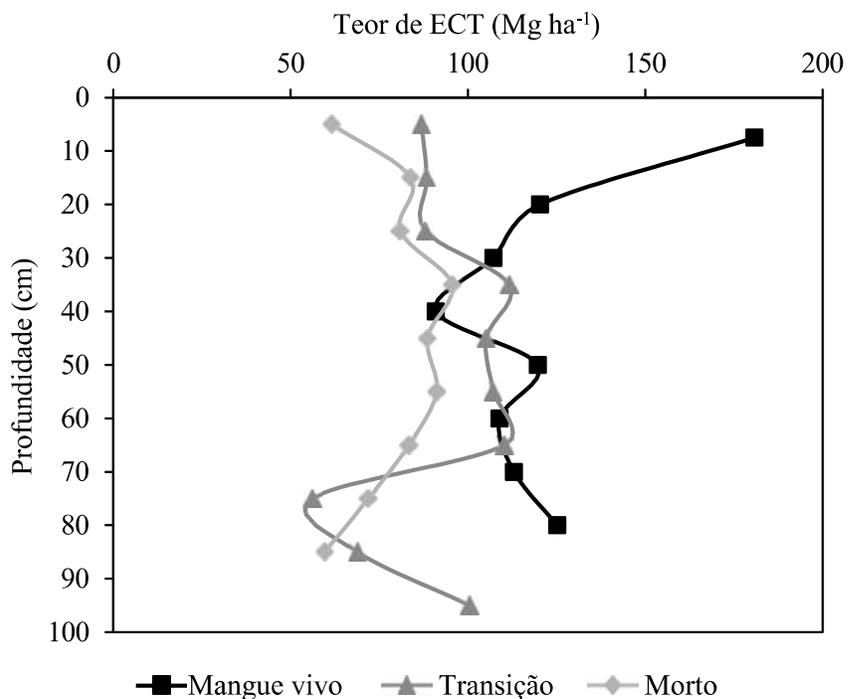


Figura 11. Distribuição dos estoques de carbono dos solos das três áreas estudadas do manguezal da APA da Barra do rio Mamanguape-PB.

Os resultados evidenciam a redução do serviço ecossistêmico de estoque de carbono com a morte da floresta de mangue (Figura 11). De modo geral, o sistema como um todo torna-se fragilizado, pois suas características físicas, biológicas e geoquímicas foram diminuídas/modificadas devido a várias perturbações, no qual a resiliência deste ambiente torna-se muito lenta, pois é um ecossistema muito frágil (Otero et al., 2017).

Em solos de manguezais da Venezuela, os teores e os estoques de carbono reduziram nas áreas com morte da vegetação em relação às áreas com o mangue vivo. As perdas dos teores e dos estoques de carbono podem ocorrer em uma escala de tempo bastante curta de 10 a 20 anos (Caldeira, 2012; Otero et al., 2017).

Vale salientar que os resultados vistos quando comparados os estoques de carbono do mangue vivo, com a transição e com a morte do mangue, de acordo com Kauffman et al (2020), é devido as emissões de carbono para a atmosfera, que é proveniente da mudança do uso da terra, que propicia a perda de estoque de carbono subterrâneo. Logo, essas áreas que apresentam menores estoque de carbono subterrâneo no manguezal de Mamanguape, pode ser devido a instalação da aquicultura ou outro tipo de cultivo, que degrada as áreas de manguezais.

Outro fator importante que é relevante para se ter um parâmetro na perda de serviços ecossistêmicos de sequestro e estoque de C, na área geográfica estudada, foi um estudo realizado por Moraes (2001), no qual o autor faz uma representação das turfeiras estudadas, no qual ele trabalha com a mesma área de objeto de estudo desta pesquisa, e identifica no rio Mamanguape valores médios de 4.215 cal/g e 23.67% de cinzas em determinadas áreas e em outras áreas os valores médios foram de 3.441 cal/g e 40.31%. Esses valores identificam a potencialidade dos manguezais estudados, no entanto, devido ao uso extensivo, de forma predatória desse ecossistema, a sua potencialidade do ponto de vista econômico e ambiental dos depósitos, no qual tem a capacidade de substituir energias não renováveis, são diminuídas quando comparados com outros levantamentos de turfeiras de outros estados do nordeste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estoque do carbono azul é de suma importância para o equilíbrio ambiental e para a manutenção de serviços ecossistêmicos, e este estudo indica que o estoque deste carbono em especial é de fundamental importância para a preservação deste ambiente. Os solos de manguezais são muito importantes e apresentam-se como importantes fornecedores de serviços ecossistêmicos, especialmente, na estocagem ou sequestro de carbono o que torna necessária a conservação deste ambiente. As causas da morte das florestas de mangue e o levantamentos dos serviços ecossistêmicos da AIRE da APA do rio Mamanguape precisam ser mais estudados, com o objetivo de fornecer informações para a elaboração de políticas públicas para o uso e conservação dos manguezais. É importante salientar a valoração da preservação deste ambiente por meio do pagamento pela sociedade para as populações locais dos serviços ecossistêmicos prestados pelos solos dos manguezais.

REFERÊNCIAS

- Alongi, D. M. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, v. 3, p. 313-322, 2012.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas P. C.; De Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- Alves, J. R. P. (Org.). *Manguezais: Educar para proteger*. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001. 96 p.
- Atwood, T. B.; Connolly, R. D.; Almahasheer, H.; Carnell, P. E.; Duarte, C. M.; Lewis, C. J. E.; Irigoien, X.; Kelleway, J. J.; Lavery, P. S.; Macreadie, P. I.; Serrano, O.; Sanders, C. J.; Santos, I.; Steven, A. D. L.; Lovelock, ; C. E. *Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses*, v. 7, p. 523-530, 2017.
- Balmford, A.; Bruner, A.; Cooper, P.; Constanza, R.; Farber, S.; Green, R. E.; Jenkins, M. Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, v. 297, n. 5583, p. 950-953, 2002.
- Bernini, E.; Silva, S. F. L.; Dos Santos, M. A.; Lage-Pinto, F. Fitossociologia de uma floresta de mangue adjacente a uma planície hipersalina no estuário do rio Miriri, Paraíba, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2016.
- BRASIL. Decreto n. 924, de 10 de setembro de 1993. *Cria a área de proteção ambiental da Barra do Rio Mamanguape no estado da Paraíba e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1 – 13/9/1993, página 13555 (Publicação Original).
- Caldeira, K. Avoiding mangrove destruction by avoiding carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 36, p. 14287-14288, 2012.
- Costa, B. C. P. *Sensoriamento remoto em suporte ao mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) em manguezais do litoral setentrional no Rio Grande do Norte, Brasil*. 2016. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- De Groot, R. S.; Wilson, M. A.; Boumans, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.
- Diniz, F. A.; Ramos, A. M.; Rebello, E. R. G. Brazilian climate normals for 1981–2010. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 53, n. 2, p. 131-143, 2018.
- Dominati, E.; Patterson, M.; Mackay, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, v. 69, n. 9, p. 1858-1868, 2010.
- Donato, D. C.; Kauffman, J. B.; Murdiyarsa, D.; Kurnianto, S.; Sthidhan, M.; Kanninen, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, v. 4, p. 293-297, 2011.
- Duarte, C. M.; Middelburg, J. J.; Caraco, N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, v. 2, p. 1-8, 2005.
- Duke, N. C.; Meynecke, J. O.; Dittmann, S.; Ellison, A. M.; Anger, K.; Berger, U.; Cannicci, S.; Diele, K.; Ewel, K. C.; Field, C. D.; Koedam, N.; Lee, S. Y.; Marchand, C.; Nordhaus,

- I.; Dahdouh-Guebas, F. A world without mangroves? *Science*, v. 317, n. 5834, p. 41b-42b, 2007.
- Eong, O. J. Mangroves – A carbon source and sink. *Chemosphere*, v. 27, n. 6, p. 1097-1107, 1993.
- FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. *Status of the World's Soil Resources: Main report*. Roma: FAO, 2015.
- FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. *The world's mangroves 1980-2005*. FAO Forestry Paper 153. Roma: FAO, 2007. 77p.
- Ferreira, T. O.; Vidal-Torrado, P.; Otero, X. L.; Macías, F. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil. *Catena*, v. 70, n. 1, p. 79-91, 2007.
- Gillis, L. G.; Snively, E.; Lovelock, C.; Zimmer, M. Effects of crab burrows on sediment characteristics in a *Cerriops australis*-dominated mangrove forest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 218, p. 334-339, 2019.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L. L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J.; Duke, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011.
- Goldin, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.
- Gomes, F. H.; Ker, J. C.; Ferreira, T. O.; Moreau, A. M. S. S.; Moreau, M. S. Characterization and pedogenesis of mangrove soils from Ilhéus – BA. *Ciência Agronômica*, v. 47, n. 4, p. 599-608, 2016.
- Grossman, R. B.; Reinsch, T. G. (2002). The solid phase. In: Dane J. H., Topp G. C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods, Madison, Soil Science Society of America. p. 201-414, 2002.
- Harris, N. L.; Brown, S.; Hagen, S. C.; Saatchi, S. S.; Petrova, S.; Salas, W.; Hansen, M. C.; Potapov, P. V.; Lotsch, A. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. *Science*, v. 336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.
- Herz, R. Estrutura física dos manguezais da costa do estado de São Paulo. *Anais*. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Atlas dos manguezais do Brasil*. Brasília: ICMBIO, 2018. 176 p.
- Jiménez, J. A.; Lugo, A. E.; Cintro, G. Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, v. 17, n. 3, p. 177-185, 1985.
- João. F. S. M.; Turfa nos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio grande do Norte. P. 16, 2001.
- Jónsson, J. Ö. G.; Davíðsdóttir, B. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, v. 145, p. 24-38, 2016.
- Kauffman, J. B.; Bhomia, R. K. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: Global and regional comparisons. *Plos One*, v. 12, n. 11, p. 1-17, 2017.
- Kauffman, J. B.; Heider, C.; Norfolk, J.; Payton, F. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, v. 24, n. 3, p. 518-527, 2014.

- Kauffman, J. B.; Adame, M. F.; Arifanti, V. B.; Schile-Beers, L. M.; Bernardino, A. F.; Bhomia, R. K.; Donato, D. C.; Feller, I. C.; Ferreira, T. O.; Jesus Garcia, M. D. C.; Mackenzie, R. A.; Megonigal, J. P.; Murdiyarso, D.; Simpson, L.; Hernández, T. H. Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological monographs*, v. 90, n. 2, e01405, 2020.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T.; Marchand, C. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, v. 89, n. 2, p. 201-219, 2008.
- Lo Iacono, C.; Mateo, M. A.; Grácia, E.; Guasch, L.; Carbonell, R.; Serrano, L.; Serrano, O.; Dañobeitia, J. Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. *Geophysical Research Letters*, v. 35, n. 18, p. 1-5, 2008.
- McLeod, E.; Chmura, G. L.; Bouillon, S.; Salm, R.; Bjork, M.; Duarte, C. M.; Lovelock, C. E.; Schlesinger, W. H.; Silliman, B. R. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, n. 10, p. 552-560, 2011.
- Moreira, J. F.; Andrade, M. O. O conflito de competências na Gestão de uma APA: O caso da APA da barra do rio Mamanguape – PB. *Revista Gestão Pública: Práticas e Desafios*, v. I, n. 1, p. 242-263, 2010.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Washington: Island Press, 2003.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington: Island Press, 2005.
- Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Romero, R. E., Marques, A. G. B., & Otero, X. L. (2013). Iron and sulfur geochemistry in semi-arid mangrove soils (Ceará, Brazil) in relation to seasonal changes and shrimp farming effluents. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 7393–7407.
- Nóbrega, G. N.; Otero, X. L.; Macías, F.; Ferreira, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effects. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 9, p. 5749-5762, 2014.
- Nóbrega, G. N.; Ferreira, T. O.; Siqueira Neto, M.; Mendonça, E. S.; Romero, R. E.; Otero, X. L. The importance of blue carbon soil stocks in tropical semiarid mangroves: a case study in Northeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 78, n. 369, p. 1-10, 2019.
- Nunes, J.A.; Beirigo, R.M. Mapeamento dos solos dos manguezais da área de proteção ambiental da barra do rio Mamanguape - PB In: XXV Encontro de Iniciação Científica da UFPB, 2017, Bananeiras -PB. XXV ENIC, 181, 2017.
- Otero, X. L.; Méndez, A.; Nóbrega, G. N.; Ferreira, T. O.; Santiso-Taboada, M. J.; Meléndez, W.; Macías, F. High fragility of the soil organic C pools in mangrove forests. *Marine pollution Bulletin*, v. 119, n. 1 p. 460-464, 2017.
- PERH-PB. *Plano estadual de recursos hídricos: Resumo executivo & atlas*. Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília, DF: Consórcio TC/BR – Concremat, 112p. 2006.
- Queiroz, H. M.; Ferreira, T. O.; Taniguchi, C. A. K.; Barcellos, D.; Nascimento, J. C.; Nóbrega, G. N.; Otero, X. L.; Artur, A. G. Nitrogen mineralization and eutrophication risks in mangroves receiving shrimp farming effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 1-10, 2020.

- Reddy, K. R.; Delaune, R. D. *Biogeochemistry of wetlands: Science and applications*. CRC Press, Boca Raton, 2008.
- Rodella, A. A.; Alcarde, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. *Scientia Agricola*, v. 51, p. 556-562, 1994.
- Rodrigues Filho, S.; Santos, A. S. *Um futuro incerto: Mudanças climáticas e a vida no planeta*. Rio de Janeiro: Garamond, 2011. 112p.
- Santos, E. J., Ferreira, C. A., Silva JR., J. M. *Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba*. Paraíba: CPRM. (Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil). 2002. 142p.
- Schaeffer-Novelli, Y. *Situação atual do grupo de ecossistemas: "manguezal, marisma e apicum" incluindo os principais vetores de pressão e as perspectivas para sua conservação e usos sustentável*. São Paulo, 1999.
- Schlesinger, W. H.; Lichter, J. Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*, v. 411, n. 6836, p. 466-469, 2001.
- Silvestre, L. C.; Farias, D. L. S.; Mendonça, J. D. L.; Barros, S. C. A.; Braga, N. M. P. Diagnóstico dos impactos ambientais advindo de atividades antrópicas na APA da barra do rio Mamanguape. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 12, p. 1-11, 2011.
- Smith, P.; Cotrufo, M. F.; Rumpel, C.; Paustian, K.; Kuikman, P. J.; Elliott, J. A.; McDowell, R.; Griffiths, R. I.; Asakawa, S.; Bustamante, M.; House, J. I.; Sobocká, J.; Harper, R.; Pan, G.; West, P. C.; Gerber, J. S.; Clark, J. M.; Adhya, T.; Scholes, R. J.; Scholes, M. C. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil*, v. 1, p. 665-685, 2015.
- Thiagarajah, J.; Wong, S. K. M.; Richards, D. R.; Friess, D. A. Historical and contemporary cultural ecosystem service values in the rapidly urbanizing city state of Singapore. *Ambio*, v. 44, n. 7, p. 666-677, 2015.
- Turschwell, M. P.; Tulloch, V. J. D.; Sievers, M.; Pearson, R. M.; Andradi-Brown, D. A.; Ahmadi, G. N.; Connolly, R. M.; Bryan-Brown, D.; Lopez-Marcano, S.; Adame, M. F.; Brown, C. J. Multi-scale estimation of the effects of pressures and drivers on mangrove forest loss globally. *Biological Conservation*, v. 247, p. 1-11, 2020.
- Vidal-Torrado, P.; Ferreira, T. O. Solos de restingas e áreas úmidas costeiras. In: *Pedologia – Solos dos Biomas Brasileiros*. [s.l.] Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.
- Walters, B. B.; Ronnback, P.; Kovacs, J. M.; Crona, B.; Hussain, S. A.; Badola, R.; Primavera, J. H.; Barbier, E.; Dahdouh-Guebas, F. Ethnobiology, socioeconomics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, v. 89, n. 2, p.220-236, 2008.
- Wang, Q. R.; Li, Y. C.; Wang, Y. Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 174, n. 1-4, p. 241-257, 2011.