



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ANNY BEATRIZ ALMEIDA BRAGA DE MATOS MESQUITA

**PRODUÇÃO DA SERAPILHEIRA E FLUXO DE CARBONO EM UM MANGUEZAL
EM PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO ESTUÁRIO DO RIO
PACOTI, CEARÁ**

FORTALEZA
2025

ANNY BEATRIZ ALMEIDA BRAGA DE MATOS MESQUITA

**PRODUÇÃO DA SERAPILHEIRA E FLUXO DE CARBONO EM UM MANGUEZAL
EM PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO ESTUÁRIO DO RIO
PACOTI, CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade
Federal do Ceará, como requisito para obtenção
do título de Bacharela em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda
Bezerra.

Co-orientadora: Dra. Natalia Beloto.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda Bezerra
(Orientador)
Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Natalia Beloto
(Co-orientadora)
Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega
(Examinador)
Departamento de Ciências do Solo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rafael Carvalho
(Examinador)
Departamento de Biologia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Á Deus e a minha família, pilares da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder forças e resiliência para seguir em frente, especialmente nos momentos mais difíceis.

Ao professor Luis Ernesto Arruda Bezerra, por me proporcionar a oportunidade de desenvolver este trabalho, por sua orientação dedicada e por confiar no meu potencial para a realização desta pesquisa.

À Natalia Beloto, pela amizade, orientação e conselhos sempre valiosos. Sou imensamente grata por sua paciência, generosidade e constante disponibilidade para me ajudar ao longo deste processo. Ela é minha inspiração como cientista.

Ao Wesley Gutemberg, Carolina Shirlei, Elton John e Paula Aguiar, pelo apoio essencial nas atividades de campo e laboratório. Ao Lucas Brito, pelos conselhos quanto a análise estatística dos dados. À Florência Cristina, pela amizade e por ter me apresentado a esse tema, o que tornou este trabalho possível.

Agradeço também a todos que se disponibilizaram a ir a campo comigo ou contribuíram com as atividades laboratoriais.

Aos meus primeiros amigos no curso, Matheus, Kaio e Elton, pela parceria e companheirismo ao longo de toda a graduação. E aos amigos que conquistei mais recentemente, Douglas, Vitória Cavalcante, Vitória Bernardo, Rayssa, Lucas, Isadora e Ruth, por tornarem essa caminhada acadêmica mais leve, divertida e inesquecível. A presença de vocês fez toda a diferença.

À Michele e Gislany, minhas amigas queridas, por me ajudarem a desenvolver minha escrita quando eu estava perdida.

Ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR/UFC), que foi quase minha segunda casa nos últimos anos. A todos os professores, servidores e terceirizados que contribuíram significativamente para minha formação, meu muito obrigada.

Ao Laboratório de Zoobentos, por ter me acolhido quando eu ainda não sabia qual rumo seguir dentro do curso. Sou grata pelas amizades que construí e pelos aprendizados adquiridos nesse espaço. Em especial à professora Cristina Rocha,

minha primeira orientadora após a pandemia, por me receber no laboratório e confiar em mim desde o início.

À minha família, que sempre me incentivou a continuar e me deu todo o apoio necessário para chegar até aqui, celebrando comigo cada pequena e grande conquista. Em especial, à minha mãe, Glauciane, por todo amor, apoio e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava. À minha tia Gláucia e ao meu tio Dilton, por me acolherem em sua casa em Fortaleza quando eu não tinha onde ficar. À minha tia Laura, pelo apoio emocional nos momentos mais difíceis. Aos meus avós, Dona Nizinha e Rufino, por serem meus pais de coração e minha maior inspiração de força e coragem.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

À PRAE (Pró-Reitoria de Assistência Estudantil), especialmente à Dra. Maria Socorro Silva, pedagoga, pela orientação técnica na produção escrita deste trabalho, e à psicóloga Synara Rocha, cujo apoio foi essencial para mim durante essa jornada.

“Enquanto o vento bradava e as folhas dançavam no ar, os pássaros que viviam na copa chilreavam, confiando no gracioso ondular dos ramos e na estabilidade do tronco da árvore. Sabiam que, mesmo nos momentos mais difíceis, podiam encontrar abrigo e segurança sob os ramos generosos daquela árvore especial.”

(António Justo, 2016)

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas extremamente produtivos e eficazes na captura e no armazenamento de carbono, desempenhando um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas. No entanto, ainda são escassas as informações sobre os fluxos de carbono em manguezais brasileiros, especialmente no compartimento da serapilheira. Este trabalho analisou a produção de serapilheira e seu aporte de carbono em um manguezal em processo de recuperação, localizado no estuário do rio Pacoti, Ceará. As coletas ocorreram de abril a setembro de 2024, em áreas com diferentes características de cobertura vegetal: duas em restauração (Áreas A e B) e duas conservadas (C e D). Utilizaram-se cestas de 1 m² (n = 15), posicionadas a 1,30 m do solo, com malha de 2 mm. O material foi classificado em seis categorias: (1) folhas, (2) flores, (3) frutos (incluindo propágulos), (4) estípulas (por espécie), (5) galhos e gravetos, e (6) miscelâneas e seco em estufa a 60 °C até atingir a biomassa seca. O conteúdo de carbono foi estimado a partir da massa seca, aplicando fatores de conversão específicos para cada espécie e componente. Para os galhos, utilizou-se um valor geral, enquanto estípulas e miscelâneas não foram consideradas devido à ausência de valores específicos para esses componentes. A produção anual de serapilheira foi estimada em 14,25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e o fluxo de carbono em 5,904 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. As áreas preservadas apresentaram maior aporte de biomassa e carbono, enquanto a área menos desenvolvida (Área A) apresentou os valores mais baixos. A fração foliar foi predominante (68,7%), seguida por frutos (11,2%) e galhos (10,5%), com destaque para a espécie *Rhizophora mangle*, que contribuiu significativamente para a biomassa total. Não se observou variação sazonal expressiva na produção total de serapilheira, exceto no caso dos frutos, cujo pico se deu na estação chuvosa, possivelmente em função do ciclo reprodutivo das espécies, especialmente *Laguncularia racemosa*. Conclui-se que a serapilheira representa uma via significativa de entrada de carbono nos manguezais, e que a área estudada apresenta potencial para contribuir com o acúmulo de matéria orgânica e com os processos de ciclagem de carbono no ecossistema.

Palavras-chave: Áreas úmidas costeiras, Carbono azul, Nordeste do Brasil

ABSTRACT

Mangroves are highly productive ecosystems, effective in capturing and storing carbon, and play a crucial role in mitigating climate change. Nevertheless, information on carbon fluxes in Brazilian mangroves remains limited, particularly regarding the litterfall compartment. This study assessed litterfall production and its carbon input in a mangrove under ecological restoration, located in the Pacoti River estuary, Ceará, Brazil. Sampling was conducted from April to September 2024 in areas with distinct vegetation cover: two under restoration (Areas A and B) and two conserved (Areas C and D). Litter traps (1 m², n = 15) were installed 1.30 m above the ground, with a 2 mm mesh. Collected material was sorted into six categories: (1) leaves, (2) flowers, (3) fruits (including propagules), (4) stipules (by species), (5) branches and twigs, and (6) miscellaneous, then oven-dried at 60 °C until reaching constant dry mass. Carbon content was estimated from dry mass using species- and component-specific conversion factors. For branches, a general factor was applied, while stipules and miscellaneous fractions were excluded due to the lack of specific values. Annual litterfall production was estimated at 14.25 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, with a carbon flux of 5.904 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. Conserved areas showed higher biomass and carbon inputs, whereas the least developed area (Area A) had the lowest values. Leaves represented the dominant fraction (68.7%), followed by fruits (11.2%) and branches (10.5%), with *Rhizophora mangle* contributing substantially to total biomass. No significant seasonal variation was observed in total litterfall production, except for fruits, which peaked during the rainy season, likely reflecting the reproductive cycle of species, particularly *Laguncularia racemosa*. Overall, litterfall represents a key pathway of carbon input into mangroves, and the studied area shows potential to contribute to organic matter accumulation and carbon cycling processes within the ecosystem.

Keywords: Coastal wetlands, Blue carbon, Northeast Brazil

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo dentro da APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil.....	9
Figura 2 - Pluviometria mensal no município do Eusébio, Ceará, em 2024.....	10
Figura 3 - Áreas de amostragem no manguezal do Rio Pacoti, Ceará, com destaque para as áreas A e B (Áreas em Restauração), C e D (Áreas Preservadas).....	12
Figura 4 - Registros fotográficos dos procedimentos em campo no manguezal do Rio Pacoti. A – Instalação das cestas; B – Material acumulado durante um mês; C – Coleta do material das cestas.....	13
Figura 5 - Aspecto da vegetação nas áreas amostrais no manguezal do Rio Pacoti. A e B – áreas em restauração; C e D – áreas preservadas.....	15
Figura 6 - Itens da serapilheira amostrada no manguezal do Rio Pacoti. A – Folha de <i>Rhizophora mangle</i> ; B – Folha de <i>Laguncularia racemosa</i> ; C – Folha <i>Avicennia</i> spp.; D – Flor de <i>Rhizophora mangle</i> ; E – Flor de <i>Laguncularia racemosa</i> ; F – Flor de <i>Avicennia</i> spp.; G – Galhos e gravetos; H – Frutos <i>Rhizophora mangle</i> ; I – Frutos <i>Laguncularia racemosa</i> ; J – Frutos <i>Avicennia</i> spp.; K – Estípula e L – Miscelâneas.....	16
Figura 7 - Variação mensal da biomassa da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.....	21
Figura 8 - Comparação da biomassa entre as áreas de estudo no manguezal do Rio Pacoti.....	23
Figura 9 - Variação da biomassa de folhas entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.....	26
Figura 10 - Variação da biomassa de galhos e gravetos entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.....	27
Figura 11 - Variação da biomassa de flores entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.....	28
Figura 12 - Variação da biomassa de frutos entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.....	29
Figura 13 - Variação da biomassa de estípulas entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.....	30
Figura 14 - Variação da biomassa de miscelâneas entre os meses amostrados no estuário do Rio Pacoti.....	31
Figura 15 - Porcentagem da representatividade dos itens na serapilheira amostrada no estuário do Rio Pacoti.....	32

Figura 16 - Representatividade da biomassa das espécies na serapilheira amostrada no estuário do Rio Pacoti.....	33
Figura 17 - Representatividade da biomassa dos itens na serapilheira em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.....	34
Figura 18 - Composição percentual de folhas por espécie em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.....	35
Figura 19 - Composição percentual de frutos por espécie em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.....	36
Figura 20 - Comparação de carbono da serapilheira entre as áreas amostradas no manguezal do Rio Pacoti.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de carbono (%) utilizados para a estimativa do estoque de carbono da serapilheira, por espécie e componente.....	18
Tabela 2 - Médias de biomassa mensal de serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.....	20
Tabela 3 - Médias de biomassa nas quatro áreas de estudo no manguezal do Rio Pacoti.....	22
Tabela 4 - Médias mensais e gerais dos componentes da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.....	24
Tabela 5 - Média de carbono mensal via serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.....	37
Tabela 6 - Médias de carbono em cada área via serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.....	38

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	2
2.	OBJETIVOS.....	7
2.1	Objetivo geral.....	7
2.2	Objetivos específicos.....	7
3.	METODOLOGIA.....	8
3.1	Área de estudo.....	8
3.2	Metodologia de amostragem da serapilheira.....	11
3.3	Procedimentos laboratoriais.....	15
3.4	Carbono na serapilheira.....	17
3.5	Análise de dados.....	18
4.	RESULTADOS.....	20
4.1	Biomassa da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti: aporte e variação temporal.....	20
4.2	Comparação de biomassa entre as áreas.....	21
4.3	Aporte e variação mensal dos diferentes componentes da serapilheira.....	23
4.4	Características dos componentes da serapilheira no manguezal do Pacoti.....	31
4.5	Carbono no manguezal do Pacoti via serapilheira.....	36
5.	DISCUSSÃO.....	40
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o IPCC (2021), os gases de efeito estufa (GEE) são substâncias gasosas, de origem natural ou antrópica, que possuem a capacidade de absorver e reemitir radiação em determinados comprimentos de onda, contribuindo para o fenômeno conhecido como efeito estufa. Entre os principais GEEs presentes na atmosfera destacam-se o vapor d'água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozônio (O_3). O efeito estufa, por sua vez, é um processo natural fundamental para a manutenção das condições climáticas que possibilitam a vida no planeta (Tonetto, 2025), entretanto, o desequilíbrio causado pelo aumento nas emissões desses gases, sobretudo por atividades humanas, tem intensificado o aquecimento global (IPCC, 2023). Ainda segundo o IPCC (2023), em 2019 as emissões globais de GEE de origem antrópica atingiram aproximadamente 59 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente, sendo o dióxido de carbono — resultante principalmente da queima de combustíveis fósseis e de processos industriais — o principal contribuinte para esse total.

Diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas, diversas iniciativas internacionais foram estabelecidas para mitigar seus impactos. Um marco fundamental nesse esforço foi a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 1992. Esta convenção surgiu em resposta ao relatório de 1990 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com o objetivo primordial de estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera a um nível que não comprometesse o sistema climático (Filho, 2007). A UNFCCC serviu de base para importantes acordos e negociações globais. O Protocolo de Kyoto, adotado em 1997, representou um esforço inicial significativo ao estabelecer metas individuais de redução de emissões para países industrializados, reconhecidos como os principais emissores de GEE à época (United Nations, 1997). Posteriormente, o Acordo de Paris, de 2015, consolidou um compromisso global ainda mais ambicioso. Seu objetivo principal é “manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais” (United Nations, 2015). Esses compromissos internacionais têm estimulado a adoção de políticas públicas, mecanismos

financeiros e tecnologias sustentáveis voltadas à transição para uma economia de baixo carbono.

Uma das políticas públicas cruciais para a mitigação das mudanças climáticas é o programa REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal). Este mecanismo, estabelecido no âmbito da UNFCCC, visa à preservação das florestas devido à sua fundamental importância no sequestro e armazenamento de carbono. Para tal, países em desenvolvimento podem ser elegíveis para receber pagamentos baseados em resultados pela diminuição comprovada do desmatamento (Alkmin, 2023; Aryal *et al.*, 2024). Simultaneamente, o REDD+ contribui significativamente para a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pelos países-membros das Nações Unidas em 2015. Essa agenda, que delineaia objetivos universais e globais, aplicáveis a todos os países, incluindo metas nas dimensões social, ambiental e econômica do desenvolvimento sustentável. (Nações Unidas do Brasil, 2015). As ações de REDD+ se alinham diretamente com diversos ODS, notadamente o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e o ODS 15 (Ecossistemas terrestres e biodiversidade), que abordam a proteção e o uso sustentável dos ecossistemas terrestres (Nações Unidas do Brasil, 2015). Tais instrumentos refletem uma abordagem integrada entre conservação ambiental, desenvolvimento socioeconômico e justiça climática, reforçando o papel dos ecossistemas naturais como aliados estratégicos no enfrentamento às mudanças climáticas globais. Dentro do contexto das estratégias de mitigação das mudanças climáticas, podemos citar a preservação de ambientes naturais, tais como manguezais, são relevantes.

Os manguezais são ecossistemas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, resultando em ambientes bastante dinâmicos e complexos. Além disso, esses locais desempenham funções ecológicas fundamentais para a sociedade e o meio ambiente, como a regulação do clima, o armazenamento e a filtragem natural da água, a oferta de abrigo e recursos para uma ampla diversidade de espécies, além da significativa capacidade de estocagem de carbono (Schaeffer-Novelli; Rovai; Coelho-Junior, 2012). Ademais, essa última característica tem levado os manguezais a se destacarem na comunidade científica como um dos tipos de florestas com maiores estoques de carbono (Donato *et al.*, 2011). Nesse contexto, a serapilheira – que representa cerca de 55% da produção primária líquida dos manguezais – (Alongi, 2025), pode ser fonte de entrada de carbono para este

ecossistema, em especial devido ao processo de decomposição da matéria orgânica (Kamruzzaman *et al.*, 2019).

A expressiva capacidade de armazenamento de carbono faz dos manguezais importantes sumidouros de carbono costeiro, o que reforça a necessidade de sua proteção e restauração como estratégias fundamentais no enfrentamento das mudanças climáticas (ICMBio, 2018). No entanto, apesar dessas contribuições ecológicas relevantes, esses ecossistemas vêm sendo severamente ameaçados por pressões antrópicas, como a urbanização, a poluição e a conversão de terras para a carcinicultura, agricultura e produção de sal (FAO, 2007), o que ressalta a urgência de ações efetivas para sua conservação. Nesse cenário, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre os processos que sustentam a dinâmica do carbono nesses ambientes. A serapilheira, por representar a principal via de retorno de matéria orgânica ao solo (Lima, 2023), desempenha um papel central nesse ciclo. Assim, estudar suas características, bem como os fluxos e estoques de carbono nela contidos, é fundamental para compreender a contribuição dos manguezais no sequestro e manutenção do carbono nos sistemas costeiros. Tais informações são estratégicas para subsidiar práticas de manejo sustentável e fomentar políticas voltadas à preservação e valorização desses ecossistemas a longo prazo.

No manguezal a maior parte do carbono atmosférico que é sequestrado advém do processo de fotossíntese realizado pelas plantas (produção primária). Durante esse processo, as plantas capturam o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera e o utilizam em seu metabolismo, resultando na fixação do carbono em seus tecidos e no aumento da biomassa vegetal (Howard *et al.*, 2014). A serapilheira compõe parte da biomassa vegetal do manguezal, e com sua queda das árvores faz com estas se depositem em forma de matéria orgânica no solo, compreendendo folhas, ramos, órgãos reprodutivos e detritos (Costa *et al.*, 2010). A serapilheira pode apresentar uma média de até 30% da produção primária líquida desses ecossistemas (Alongi; Clough; Robertson, 2005) e colabora significativamente para a ciclagem de nutrientes, funcionando como “depósitos” no solo e contribuindo em grande parte com o nitrogênio utilizado pelas plantas, que é disponibilizado pela ação dos decompositores (Kashian *et al.*, 2023).

A produtividade da serapilheira é influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, incluindo o tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, luminosidade, relevo, estágio sucessional, disponibilidade de água e características

do solo (Silva, 2019). Em estudos realizados em manguezais no Brasil, observa-se que a produção de serapilheira geralmente segue um padrão sazonal, com maior produção na estação seca e menor na chuvosa (Sessegholo, 1997; Fernandes *et al.*, 2007; Lamparelli, 1995). Em relação aos itens da serapilheira, as folhas mostraram ser o maior contribuinte, com maior produção especialmente nas estações quentes (Santos, 2013; Chaves, 2007; Schmiegelow, 2009; Souza, 2019). Isso provavelmente se deve aos esforços das plantas para economizar energia, que é posteriormente investida na produção de estruturas reprodutivas, resultando em uma maior queda de folhas em períodos de maior estresse (Fernandes *et al.*, 2007). Nesse sentido, o monitoramento da serapilheira é fundamental, pois permite compreender a dinâmica sazonal da produção e a contribuição relativa de seus diferentes compartimentos, além de gerar informações relevantes para ações de conservação e manejo ecológico.

A contribuição da serapilheira para os estoques de carbono já foi amplamente estudada em diferentes tipos de vegetação e regiões do mundo. Em florestas do noroeste do Pacífico, nos Estados Unidos, os estoques estimados foram de $13,91 \pm 3,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$, enquanto em florestas localizadas no sul do país os valores foram de $7,04 \pm 0,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Domke *et al.*, 2016). No Brasil, a maior parte das pesquisas concentra-se no bioma amazônico, onde estudos sobre o fluxo de carbono via serapilheira variam entre $3,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $5,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $5,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, conforme dados de Maestri *et al.* (2019), Cabianchi (2010) e Selva *et al.* (2007). Para o bioma Caatinga, Kauffman *et al.* (1993) relataram um valor de $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de estoque.

Para o ecossistema específico dos manguezais, a média estimada do fluxo de carbono via serapilheira nos ambientes do neotrópico é de aproximadamente $5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, conforme relatado por Ribeiro *et al.* (2019). No entanto, estudos realizados no Brasil ainda são relativamente escassos, e alguns resultados indicam valores abaixo dessa média, como o observado por Rovai *et al.* (2021), que estimaram $3,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em um manguezal na região Sudeste do país. Esses dados reforçam a necessidade de mais investigações regionais, especialmente em áreas fora do eixo amazônico e sul-sudeste, como os manguezais do Nordeste brasileiro.

Nesse contexto, observa-se não apenas uma limitação na quantidade de dados disponíveis sobre os fluxos de carbono na serapilheira no Brasil, como

também uma lacuna significativa de informações referentes aos manguezais, especialmente aqueles localizados na região Nordeste. A escassez de dados regionais compromete a compreensão da variabilidade ecológica desses ecossistemas e dificulta a formulação de estimativas mais precisas do sequestro de carbono.

Diante disso, considerando a relevância dos manguezais no sequestro de carbono e a necessidade de informações mais detalhadas sobre a dinâmica da serapilheira nesses ecossistemas, especialmente em regiões pouco estudadas como o Nordeste brasileiro, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção da serapilheira e o fluxo de carbono em um manguezal em processo de restauração ecológica no estuário do rio Pacoti, Ceará. Além disso, buscou-se compreender como a variação na cobertura vegetal influencia a produção e as características dessa matéria orgânica nesse ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a produção da serapilheira e o fluxo de carbono em um manguezal em processo de restauração ecológica localizado no estuário do rio Pacoti, Ceará.

2.2 Objetivos Específicos

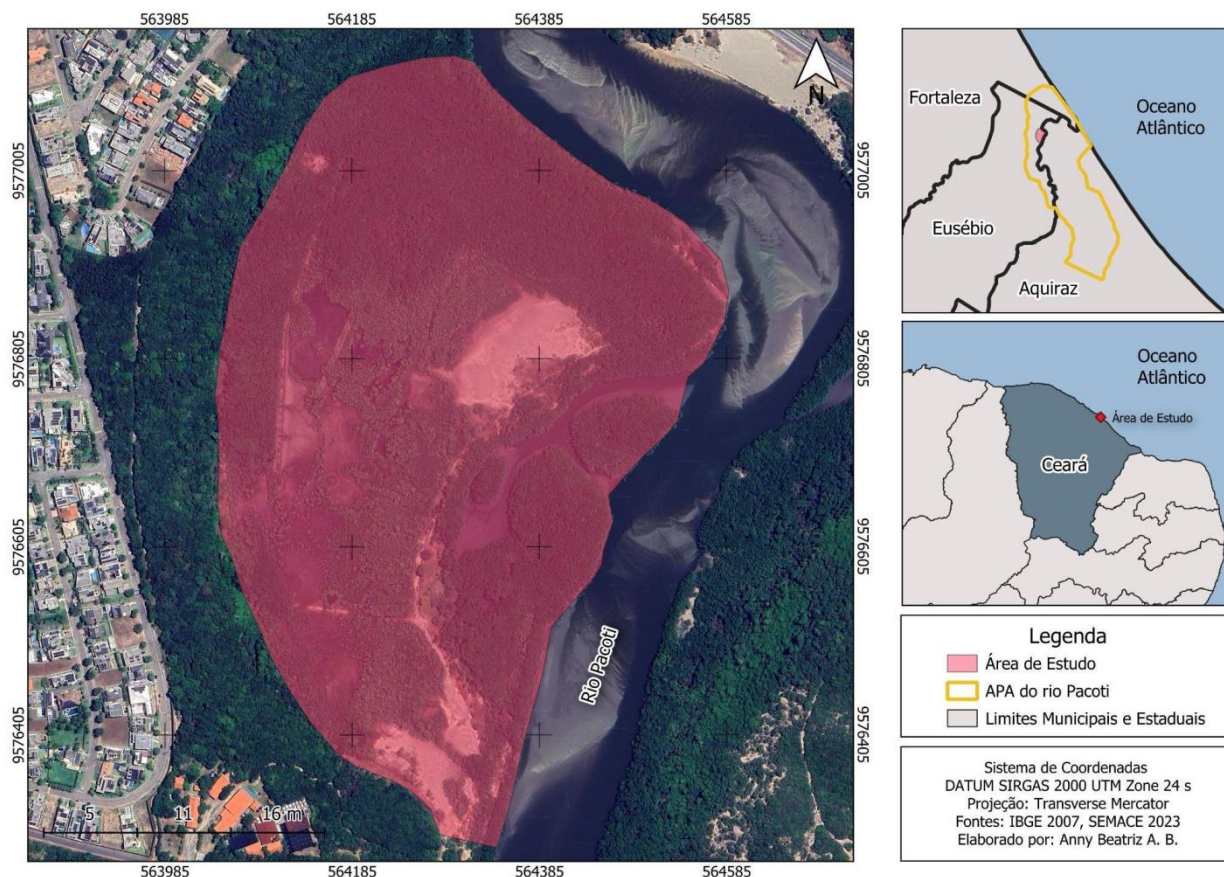
- Estimar o carbono e biomassa da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti e nas diferentes coberturas vegetais (preservadas e em restauração);
- Comparar a biomassa e carbono entre as diferentes coberturas vegetais;
- Avaliar a variação temporal da serapilheira durante o período do estudo; e
- Identificar as características da serapilheira.

3. METODOLOGIA

3.1 Área do estudo

O presente estudo foi desenvolvido em um manguezal que está inserido dentro da APA do estuário do rio Pacoti (Figura 1). O estuário do Rio Pacoti, localizado nas coordenadas 38° 24' 27"W e 3° 51' 07"S, tem sua nascente na Serra de Baturité (Barbosa *et al.*, 2016) e se estende pelos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz, no estado do Ceará (Lima *et al.*, 2019). Este estuário faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti, uma unidade de conservação de uso sustentável criada pelo Decreto Estadual Nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, que abrange uma área de 2.914,93 hectares e foi estabelecida devido à grande relevância ecológica do entorno do rio, que inclui manguezais, cordões de dunas, mata de tabuleiro e mata ciliar (SEMACE, 2010).

Figura 1 – Localização da área de estudo dentro da APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil.



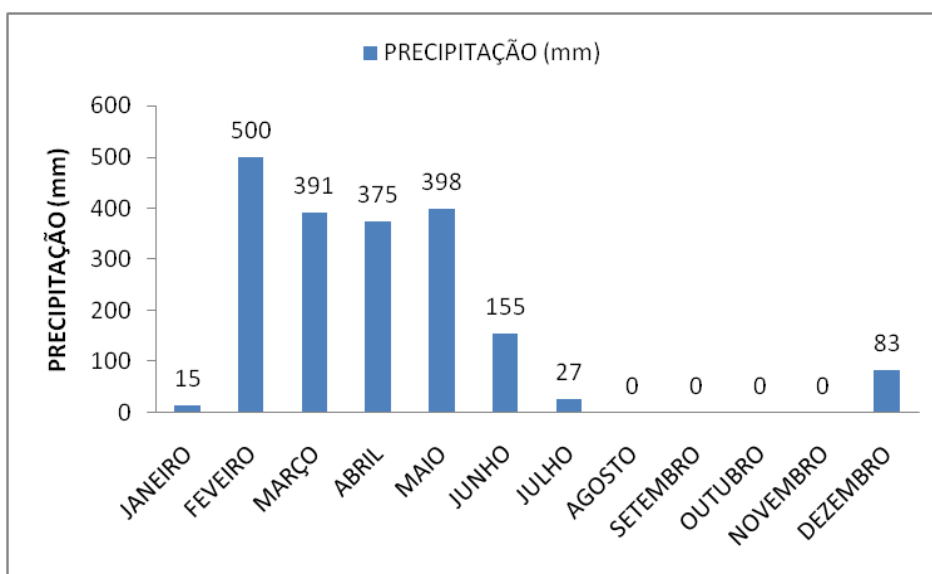
Fonte: elaborado pela autora (2025).

Como muitas desembocaduras de rios na região nordeste, o estuário do Rio Pacoti pode ser considerado hipersalino, onde durante a estação chuvosa, a salinidade diminui devido ao aumento da entrada de água doce do rio, enquanto na estação seca, as taxas de salinidade aumentam significativamente devido à maior influência da água salgada, chegando a atingir salinidade de 40 mg L⁻¹ a 6,5 km da foz (Barroso *et al.*, 2016).

O clima da região é caracterizado como tropical, com variações de temperatura entre 22°C e 34°C (Bezerra, Matthews-Cascon, 2007). Além disso, a dinâmica da desembocadura do Rio Pacoti é fortemente influenciada pela pluviometria, pois o volume de precipitação está diretamente relacionado ao aporte de água e, consequentemente, à vazão do rio (Rocha, 2013). A vazão do estuário oscila ao longo do ano, durante os períodos chuvoso e seco, podendo alcançar

médias de 19 m³/s e 1 m³/s, respectivamente (Molissani *et al.*, 2006). Em 2024, o município que abriga a área de estudo registrou 1 944 mm de precipitação anual, conforme dados da FUNCEME (2025). A Figura 2 apresenta a distribuição mensal desses valores de forma detalhada.

Figura 2 – Pluviometria mensal no município do Eusébio, Ceará, em 2024.



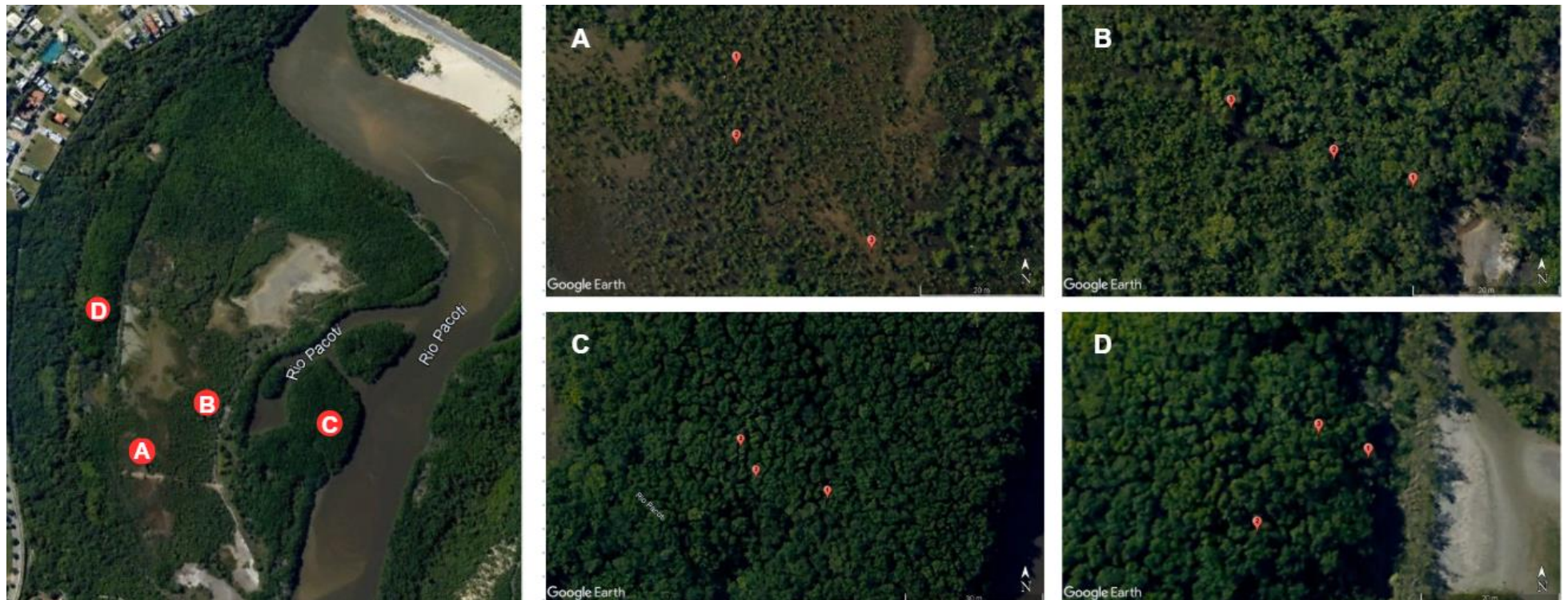
Fonte: Elaborado pela autora com dados da FUNCEME (2025).

No estuário do Rio Pacoti, observa-se a predominância de bosques de mangue em suas margens. Essa vegetação é composta, principalmente, pelas espécies *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), *Laguncularia racemosa* (Combretaceae), *Avicennia* spp. (Acanthaceae) e *Conocarpus erectus* (Combretaceae) (McDade *et al.*, 2008; Tavares *et al.*, 2011), apresentando uma paisagem bastante heterogênea, com a presença de áreas de mangue em processo de recuperação e também áreas ainda preservadas. Destaca-se que as áreas em processo de recuperação, no passado eram apicuns que foram transformados em tanques de sal para a atividade salineira da década de 1960 e 1980, anos após o encerramento das atividades houve por iniciativa da Universidade Federal do Ceará, o início de um projeto de recuperação da área (Ferreira *et al.*, 2022).

3.2 Metodologia de amostragem de serapilheira

As campanhas de amostragem de serapilheira foram conduzidas mensalmente, no período de abril a setembro de 2024. A metodologia empregada baseou-se nos procedimentos descritos por Fernandes *et al.* (2007) e no manual “Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows” (Howard *et al.*, 2014). Para a coleta, selecionaram-se quatro áreas distintas, visando garantir a representatividade local e possibilitar a comparação entre diferentes estados de conservação: duas áreas anteriormente impactadas e que passaram por um processo de restauração (RE), denominadas A e B e duas áreas denominadas preservadas (AP), designadas C e D (Figura 3). Em cada uma das quatro áreas, foram instaladas três cestas de coleta de serapilheira, medindo 1x1 m e 20 cm de profundidade, confeccionadas com tubos de PVC e malha de poliéster. Estas cestas foram posicionadas a aproximadamente 1,30 m do solo (n=12), para evitar o arraste do material pelas marés (Fernandes *et al.*, 2007). Registros do procedimento de campo podem ser visualizados na Figura 4.

Figura 3 – Áreas de amostragem no manguezal do Rio Pacoti, Ceará, com destaque para as áreas A e B (Áreas em Restauração), C e D (Áreas Preservadas).



Fonte: Google Earth (2025).

Figura 4 – Registros fotográficos dos procedimentos em campo no manguezal do Rio Pacoti. A – Instalação das cestas; B – Material acumulado durante um mês; C – Coleta do material das cestas.



Fonte: elaborada pela autora (2025).

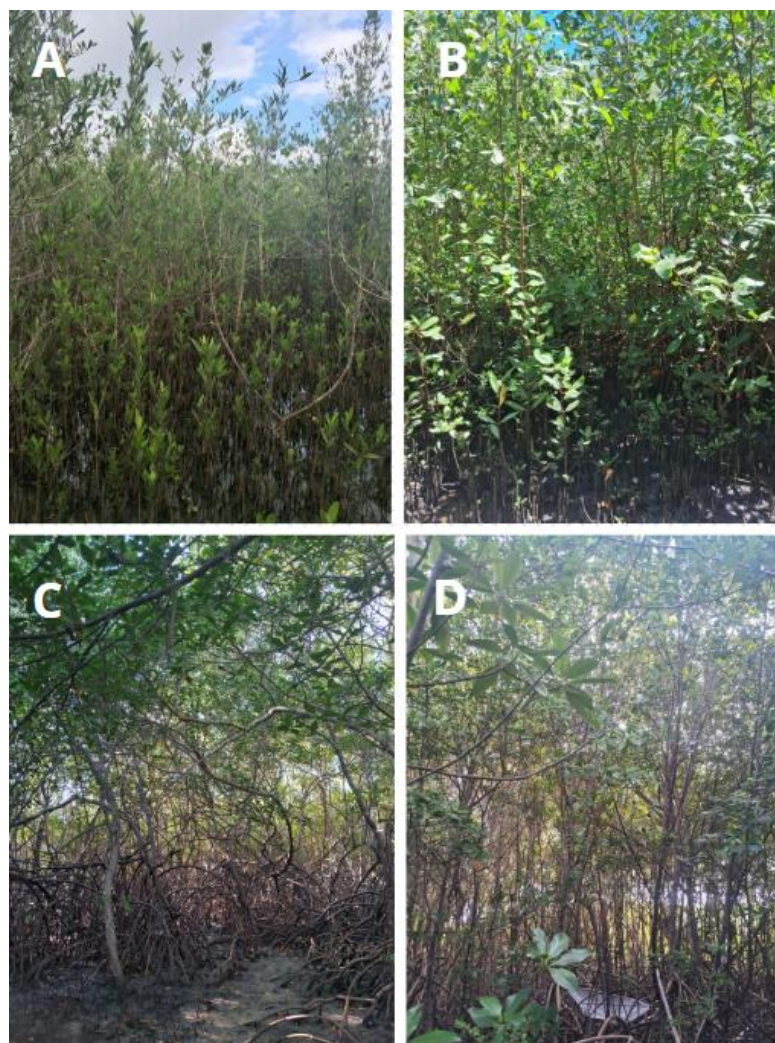
As áreas A e B, classificadas como em restauração (RE), correspondem a áreas onde no passado havia atividades de extração de sal, mas que no momento está passando por processo de restauração. Essas áreas recebem água por canais artificiais construídos em 2017, com o objetivo de promover a restauração hidrológica da região e consequentemente o retorno natural da vegetação (Ferreira *et al.*, 2022). A Área A, especificamente, apresenta predominância de indivíduos jovens de *Avicennia* spp., uma população em regeneração.

A Área B, por sua vez, possui uma composição florística mais diversificada. No trecho inicial da área, observa-se predominância de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, resultantes do plantio de mudas realizado durante a abertura dos canais artificiais para restauração da hidrologia. Já nas proximidades

dos antigos tanques de salina, a *Avicennia* spp. Torna-se mais representativa. A vegetação nesta área é notavelmente densa, composta por árvores relativamente bem desenvolvidas.

Por fim, as áreas C e D, classificadas como preservadas (AP), são dominadas principalmente por espécies de *Rhizophora mangle*, com presença esparsa de indivíduos de *Laguncularia racemosa*. A Área C está mais próxima da margem do rio, o que a torna mais suscetível à inundação pelas marés, enquanto a Área D representa a localidade mais distante do corpo d'água principal, com menor influência direta das marés. Nessas áreas preservadas, as árvores são bem estabelecidas, com copas amplas e bem desenvolvidas, embora os indivíduos estejam mais espaçados entre si, resultando aparentemente em uma menor densidade em comparação às áreas em processo de restauração. Aspectos das áreas de estudo podem ser vistos na Figura 5.

Figura 5 – Aspecto da vegetação nas áreas amostrais no manguezal do Rio Pacoti. A e B – áreas em restauração; C e D – áreas preservadas.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3 Procedimentos laboratoriais

Ao final de cada mês, a serapilheira era retirada e acondicionada em sacolas plásticas para transporte até o laboratório. No laboratório as amostras de cada cesta foram triadas e pesadas (peso úmido) e na sequência seus itens alocados em estufa a 60 °C até atingirem peso constante, para posterior determinação da biomassa seca (Howard *et al.*, 2014).

A categorização dos itens da serapilheira seguiu, com adaptações, a metodologia proposta por Fernandes *et al.* (2007), onde o material foi sistematicamente classificado nas seguintes categorias: folhas, galhos e gravetos, flores, frutos (incluindo propágulos), estípulas e miscelânea (Figura 6). Adicionalmente, as folhas, flores, frutos e estípulas foram separados e quantificados por espécie (*L. racemosa*, *R. mangle* e *Avicennia* spp.). No caso dos galhos e gravetos, a identificação da espécie de origem não foi possível, uma vez que o material não apresentava características morfológicas que permitissem tal distinção. Por fim, o compartimento denominado miscelânea foi composto por todo material vegetal e animal não identificado, bem como por outros detritos orgânicos, incluindo excrementos. A biomassa foi inicialmente expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2), obtida a partir das amostragens em campo, mas para fins de comparação com outros estudos os valores foram convertidos para mega gramas por hectare (Mg/ha).

Figura 6 – Itens da serapilheira amostrada no manguezal do Rio Pacoti. A – Folha de *Rhizophora mangle*; B – Folha de *Laguncularia racemosa*; C – Folha *Avicennia* spp.; D – Flor de *Rhizophora mangle*; E – Flor de *Laguncularia racemosa*; F – Flor de *Avicennia* spp.; G – Galhos e gravetos; H – Frutos *Rhizophora mangle*; I – Frutos *Laguncularia racemosa*; J – Frutos *Avicennia* spp.; K – Estípula e L – Miscelâneas.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.4 Carbono na serapilheira

Para a estimativa da entrada de carbono via serapilheira, considerou-se a aplicação de teores de carbono específicos para cada espécie e componente da biomassa, conforme sugerido por Rodrigues *et al.* (2015). Os referidos autores avaliaram os teores de carbono em diferentes compartimentos de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. No presente estudo, os valores de carbono utilizados foram aplicados separadamente para folhas, galhos e partes reprodutivas (Rodrigues *et al.*, 2015), esta última sendo a junção de flores, frutos e propágulos. Para o material classificado como galhos e gravetos, não foi possível a identificação da espécie de origem, sendo assim adotado o teor médio de carbono sugerido por Rodrigues *et al.* (2015) para compartimentos lenhosos. No caso do gênero *Avicennia*, não foi possível identificar as amostras ao nível específico durante o presente estudo. Dessa forma, adotou-se o valor de conversão de carbono disponível na literatura para *Avicennia schaueriana* (Rodrigues *et al.*, 2015).

Essa conversão individual por componente teve como objetivo possibilitar o cálculo do fluxo total de carbono da serapilheira acumulada, por meio da soma dos valores de carbono estimados para cada componente e espécie. Os teores de carbono adotados para cada compartimento e espécie estão apresentados na Tabela 1. Com base nesses valores, o carbono foi calculado multiplicando-se a biomassa seca de cada componente pelo respectivo teor de carbono (%), conforme a fórmula:

$$C \text{ (Mg/ha)} = \text{Biomassa (Mg/ha)} \times (\text{Teor de carbono} / 100)$$

Tabela 1 – Teores de carbono (%) utilizados para a estimativa do estoque de carbono da serapilheira, por espécie e componente.

Componente	Espécie	Teor de Carbono (%) (Rodrigues <i>et al.</i> , 2015)
Folhas	<i>Avicennia</i> spp.	42
	<i>L. racemosa</i>	42,7
	<i>R. mangle</i>	45,1
Partes reprodutivas (flores, frutos e propágulos)	<i>Avicennia</i> spp.	42,7
	<i>L. racemosa</i>	43
	<i>R. mangle</i>	44,7
Galhos e gravetos	Não distinguido por espécie	44,1

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Rodrigues *et al.* (2015).

3.5 Análise dos dados

Para a apresentação e análise dos dados, os valores de biomassa da serapilheira foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, aplicado tanto ao conjunto geral quanto separadamente para cada área amostrada e para os meses de amostragem. A homogeneidade de variâncias foi avaliada por meio do teste de Levene. Os resultados indicaram que os dados não apresentavam distribuição normal ($p < 0,05$) e, na maioria dos casos, não atendiam ao critério de homogeneidade de variâncias ($p < 0,05$), tanto entre as áreas, quanto entre os meses. Diante desses resultados, optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que é adequado para dados independentes e não exige os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, com o objetivo de verificar diferenças significativas na biomassa da serapilheira entre as áreas amostradas e ao

longo dos meses de coleta. Para a análise descritiva, foram calculadas medidas de tendência central (média) e dispersão (desvio padrão). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software IBM SPSS Statistics, versão 25 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA), e os gráficos foram elaborados nesse programa, assim como no Rstudio e no Microsoft Excel.

4. RESULTADOS

4.1 Biomassa de serapilheira no manguezal do Rio Pacoti: aporte e variação temporal

O aporte de biomassa via serapilheira foi obtido a partir da média geral da biomassa na área de estudo, considerando os dados das 12 (Doze) cestas ao longo dos seis meses de monitoramento. Primeiramente, calculou-se a média mensal de biomassa para cada mês e, em seguida, essas médias foram somadas e divididas pelo número total de meses avaliados ($n = 6$). De modo geral, os valores médios de biomassa variaram de 0,96 – 1,48 Mg/ha (Mín – Máx), com média geral de $1,19 \pm 0,19$ Mg/ha. As médias mensais estão apresentadas na Tabela 2. Durante os meses de amostragem, o total acumulado de serapilheira foi de 7,13 Mg/ha (soma da média dos 6 meses). Considerando esse total semestral, realizou-se uma projeção aproximada do acúmulo anual, estimando-se um total de 14,25 Mg/ha de biomassa. Ressalta-se que esse valor representa uma estimativa anual, obtida a partir da extrapolação dos dados de seis meses de monitoramento. Dessa forma, podem ocorrer divergências em relação à produção real ao longo de um ciclo completo, resultando em possíveis subestimações ou superestimações.

Tabela 2 – Médias de biomassa mensal de serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.

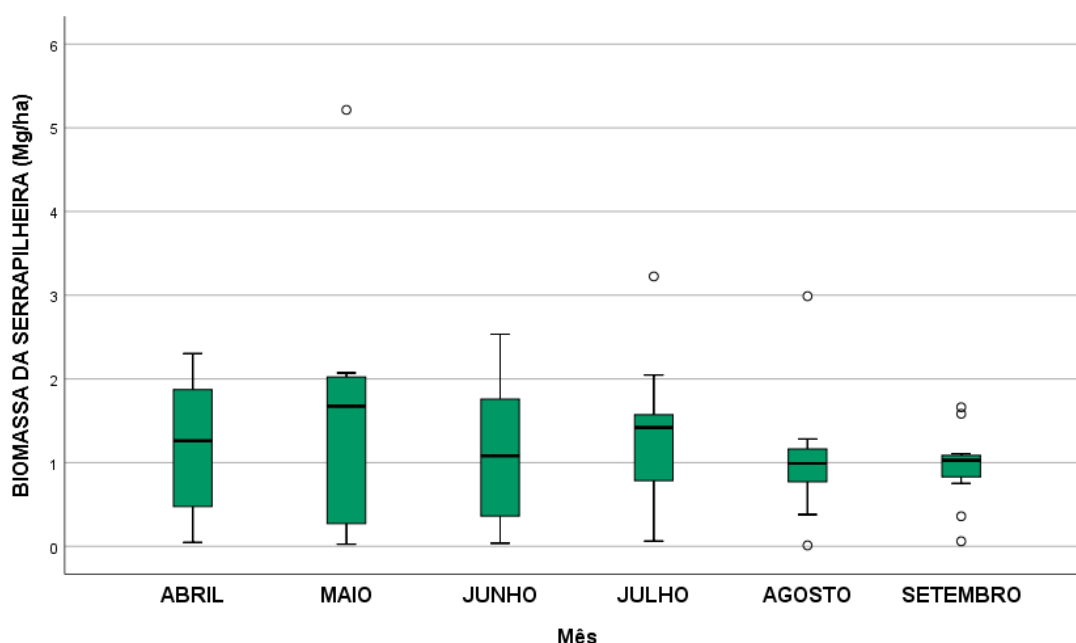
Mês	Biomassa (Mg/ha)
Abril	$1,20 \pm 0,84$
Maio	$1,48 \pm 1,50$
Junho	$1,11 \pm 0,86$
Julho	$1,32 \pm 0,88$
Agosto	$1,05 \pm 0,71$
Setembro	$0,96 \pm 0,44$
Média geral	$1,19 \pm 0,19$

Fonte: elaborado pela autora (2025).

A fim de verificar possíveis variações temporais na produção de biomassa da serapilheira, foi realizada uma análise comparativa entre os meses de

monitoramento. Para isso, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, o qual não indicou diferenças estatisticamente significativas entre os meses avaliados ($X^2 = 2,405$; gl = 5; $p = 0,791$), considerando um intervalo de confiança de 95%. A Figura 7 apresenta a variação mensal da biomassa da serapilheira no período de abril a setembro de 2024. Dessa forma, os resultados do teste, em concordância com o que se observa no gráfico, indicam que a produção de serapilheira se manteve relativamente constante ao longo do período analisado.

Figura 7 – Variação mensal da biomassa da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.2 Comparação de biomassa entre as áreas

Para avaliar as diferenças no aporte de biomassa entre as áreas amostradas, foi calculada a média geral de biomassa para cada uma delas, a partir dos valores médios mensais obtidos ao longo dos seis meses de monitoramento. Os resultados revelaram que as maiores médias de biomassa foram registradas nas áreas preservadas, destacando-se a área D, com $1,60 \pm 0,37$ Mg/ha, seguida pela área C,

com $1,48 \pm 0,45$ Mg/ha. Já entre as áreas em processo de restauração, a área B apresentou uma média intermediária ($1,43 \pm 0,74$ Mg/ha), enquanto a área A obteve o menor valor observado, com $0,20 \pm 0,18$ Mg/ha, conforme mostrado na Tabela 3.

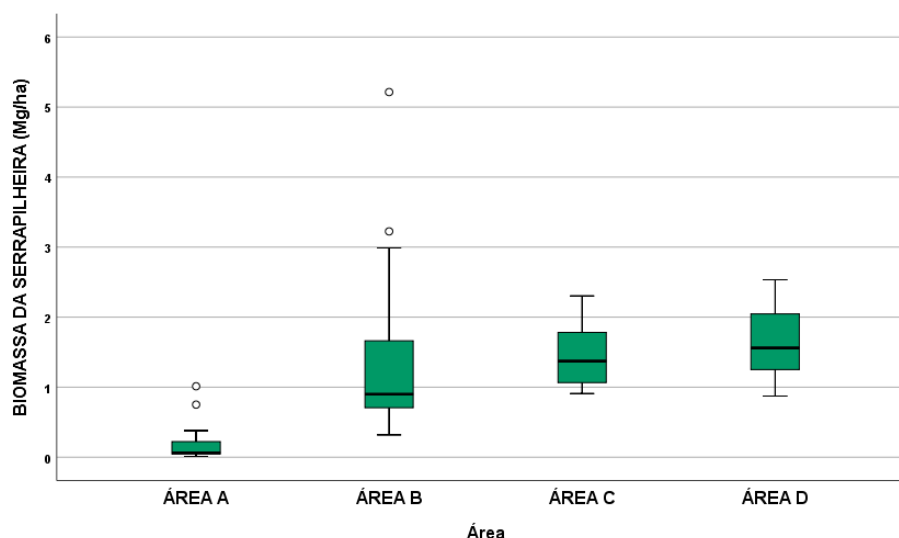
Tabela 3 – Médias de biomassa nas quatro áreas de estudo no manguezal do Rio Pacoti.

Mês	Biomassa por área (Mg/ha)			
	Área A	Área B	Área C	Área D
Abril	$0,11 \pm 0,10$	$0,59 \pm 0,25$	$2,00 \pm 0,27$	$1,75 \pm 0,46$
Maio	$0,04 \pm 0,03$	$2,49 \pm 2,45$	$2,02 \pm 0,01$	$1,54 \pm 0,61$
Junho	$0,05 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,10$	$1,44 \pm 0,23$	$2,20 \pm 0,37$
Julho	$0,15 \pm 0,08$	$2,06 \pm 1,02$	$1,41 \pm 0,05$	$1,68 \pm 0,32$
Agosto	$0,47 \pm 0,51$	$1,51 \pm 1,28$	$1,00 \pm 0,06$	$1,20 \pm 0,11$
Setembro	$0,39 \pm 0,35$	$1,21 \pm 0,39$	$1,00 \pm 0,08$	$1,25 \pm 0,29$
Média geral	$0,20 \pm 0,18$	$1,43 \pm 0,74$	$1,48 \pm 0,45$	$1,60 \pm 0,37$

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Adicionalmente, a análise estatística realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças significativas na biomassa entre as áreas avaliadas [$X^2 = 38,439$; gl = 3; $p < 0,001$], considerando um nível de confiança de 95%. Os resultados desse teste demonstraram que a área A apresentou valores de biomassa significativamente inferiores em relação a todas as demais áreas ($p < 0,05$). Em contrapartida, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as áreas B, C e D ($p > 0,05$), sugerindo que essas áreas apresentam níveis de biomassa semelhantes (Figura 8).

Figura 8 – Comparação da biomassa entre as áreas de estudo no manguezal do Rio Pacoti.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

4.3 Aporte e variação mensal dos diferentes componentes da serapilheira

Para cada componente, foi inicialmente calculada a biomassa média mensal com base nas 12 cestas amostradas em cada mês. Posteriormente, a média geral de cada componente foi obtida a partir da média dos valores mensais ao longo do período de monitoramento (abril a setembro de 2024). Dentre os componentes analisados, as folhas representaram a principal fração da serapilheira, com média geral de $0,810 \pm 0,136$ Mg/ha, apresentando o maior valor em julho e o menor em abril. Os frutos constituíram o segundo maior aporte, com média de $0,139 \pm 0,220$ Mg/ha, destacando-se pelos maiores valores em abril e maio e pelas menores concentrações em julho e agosto. A fração de galhos e gravetos apresentou média geral de $0,124 \pm 0,039$ Mg/ha, com os maiores valores registrados em abril e julho e os menores em maio e setembro. As flores apresentaram uma média de $0,042 \pm 0,011$ Mg/ha, com pico de deposição em junho e o menor valor em agosto. Por fim, as estípulas e o material classificado como miscelânea apresentaram médias de $0,049 \pm 0,007$ Mg/ha e $0,025 \pm 0,006$ Mg/ha, respectivamente, com pouca variação ao longo dos meses avaliados. As informações detalhadas referentes às médias mensais e gerais dos componentes estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Médias mensais e gerais dos componentes da serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.

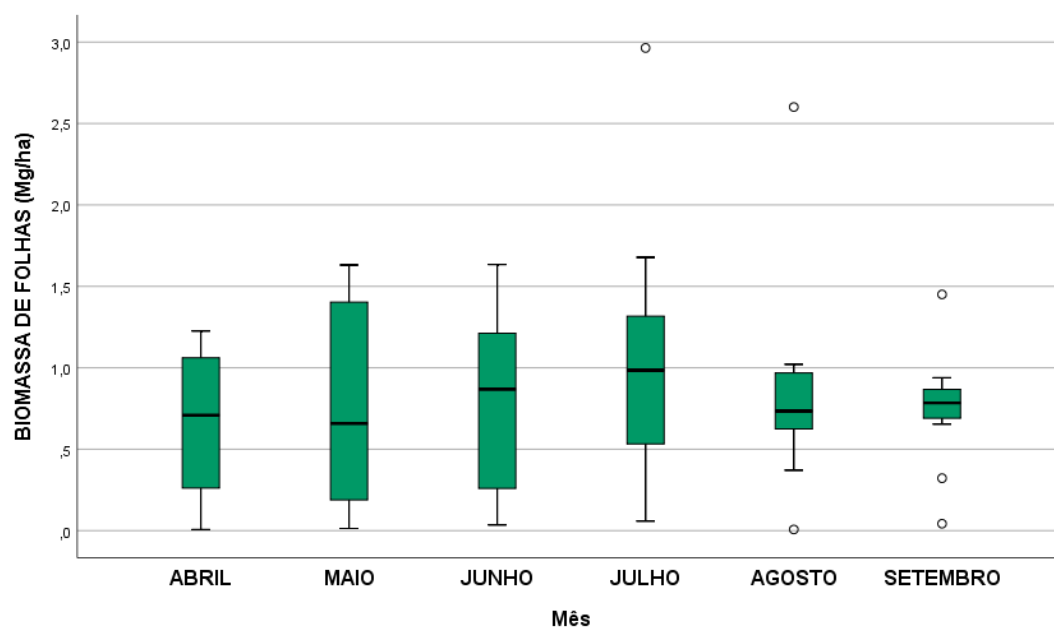
Biomassa dos componentes da serapilheira (Mg/ha)						
Mês	Folha	Galhos e gravetos	Flores	Frutos	Estípulas	Miscelânea
Abril	0,660 ± 0,435	0,165 ± 0,182	0,046 ± 0,051	0,243 ± 0,275	0,057 ± 0,050	0,033 ± 0,023
Maio	0,751 ± 0,653	0,081 ± 0,070	0,037 ± 0,050	0,546 ± 1,318	0,035 ± 0,035	0,028 ± 0,024
Junho	0,794 ± 0,561	0,154 ± 0,184	0,060 ± 0,070	0,037 ± 0,071	0,047 ± 0,041	0,017 ± 0,014
Julho	1,058 ± 0,784	0,158 ± 0,133	0,035 ± 0,040	0,004 ± 0,008	0,049 ± 0,045	0,021 ± 0,016
Agosto	0,844 ± 0,619	0,102 ± 0,101	0,028 ± 0,033	0,001 ± 0,003	0,052 ± 0,056	0,018 ± 0,014
Setembro	0,750 ± 0,338	0,085 ± 0,122	0,043 ± 0,035	0,005 ± 0,013	0,050 ± 0,048	0,029 ± 0,020
Média geral	0,810 ± 0,136	0,124 ± 0,039	0,042 ± 0,011	0,139 ± 0,220	0,049 ± 0,007	0,025 ± 0,006

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A análise da biomassa dos diferentes componentes da serapilheira ao longo dos meses foi realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis, com o objetivo de verificar possíveis variações temporais na produção desses materiais. Os resultados indicaram que, para a maioria dos componentes avaliados, não houve diferenças estatisticamente significativas ao longo do período de monitoramento. Essa tendência de estabilidade foi observada para as folhas [$X^2 = 3,233$; gl = 5; $p = 0,664$], galhos e gravetos [$X^2 = 2,926$; gl = 5; $p = 0,711$], flores [$X^2 = 3,821$; gl = 5; $p = 0,576$], estípulas [$X^2 = 1,807$; gl = 5; $p = 0,875$] e material classificado como miscelânea [$X^2 = 5,602$; gl = 5; $p = 0,347$], considerando um nível de confiança de 95%.

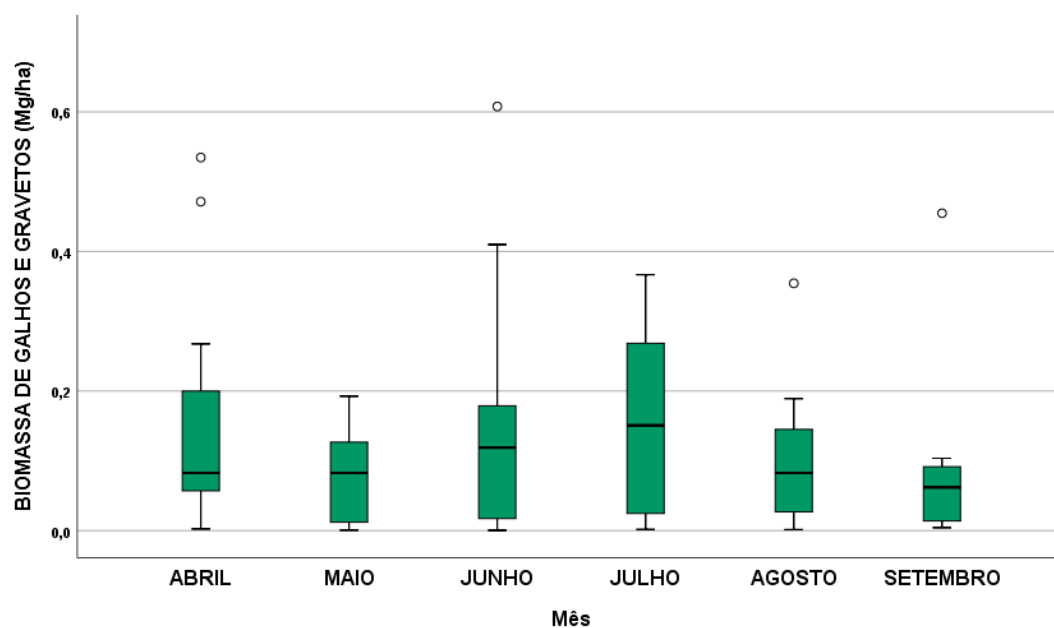
Por outro lado, os frutos apresentaram variação estatisticamente significativa entre os meses avaliados [$X^2 = 34,974$; gl = 5; $p < 0,001$]. A comparação entre os grupos revelou que os meses de abril e maio apresentaram valores significativamente superiores em relação aos meses de julho, agosto e setembro, indicando que o maior aporte de frutos ocorreu nos primeiros meses do período de amostragem. A Figura 9 apresenta o gráfico boxplot da biomassa de folhas ao longo dos meses, enquanto as Figura 10 – Figura 14 ilustram, respectivamente, a variação mensal da biomassa dos galhos e gravetos, flores, frutos, estípulas e miscelânea, onde é possível observar que a maioria dos componentes se manteve constante com exceção de frutos.

Figura 9 – Variação da biomassa de folhas entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.



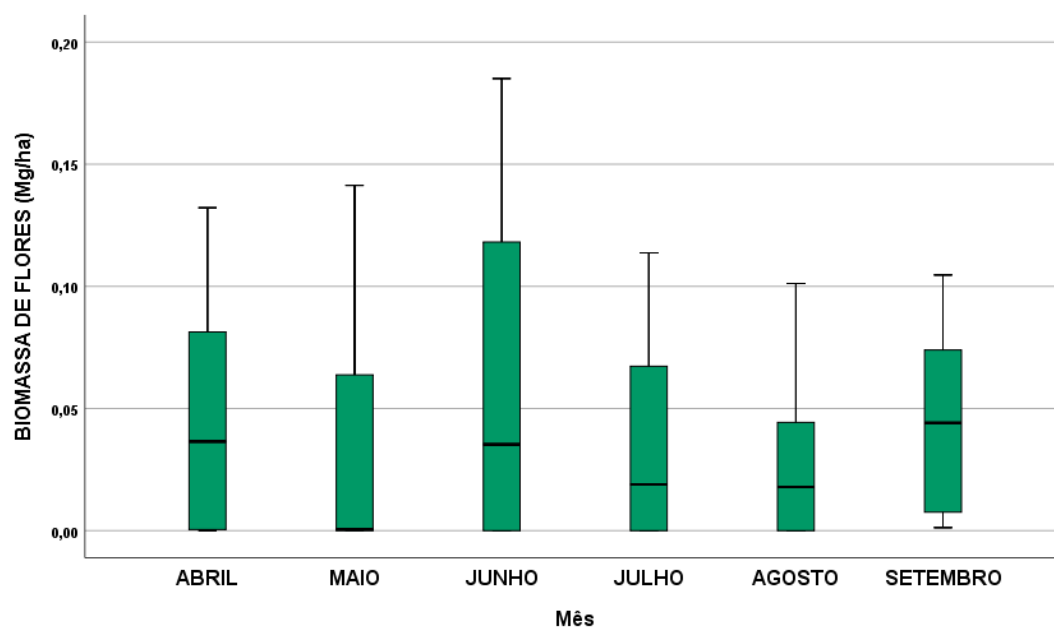
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 10 – Variação da biomassa de galhos e gravetos entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.



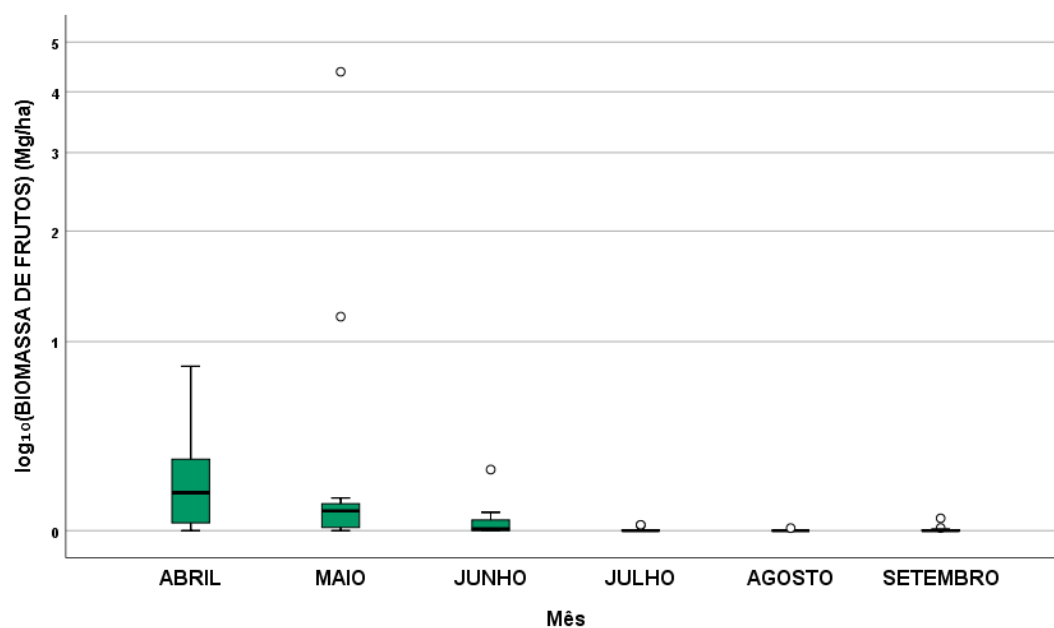
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 11 – Variação da biomassa de flores entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.



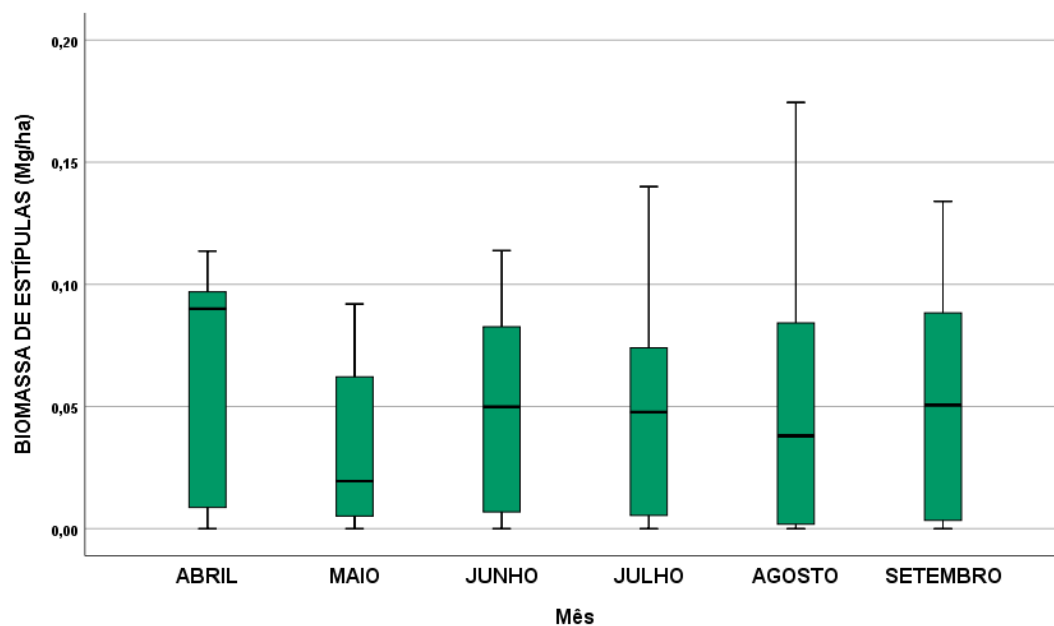
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 12 – Variação da biomassa de frutos entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.



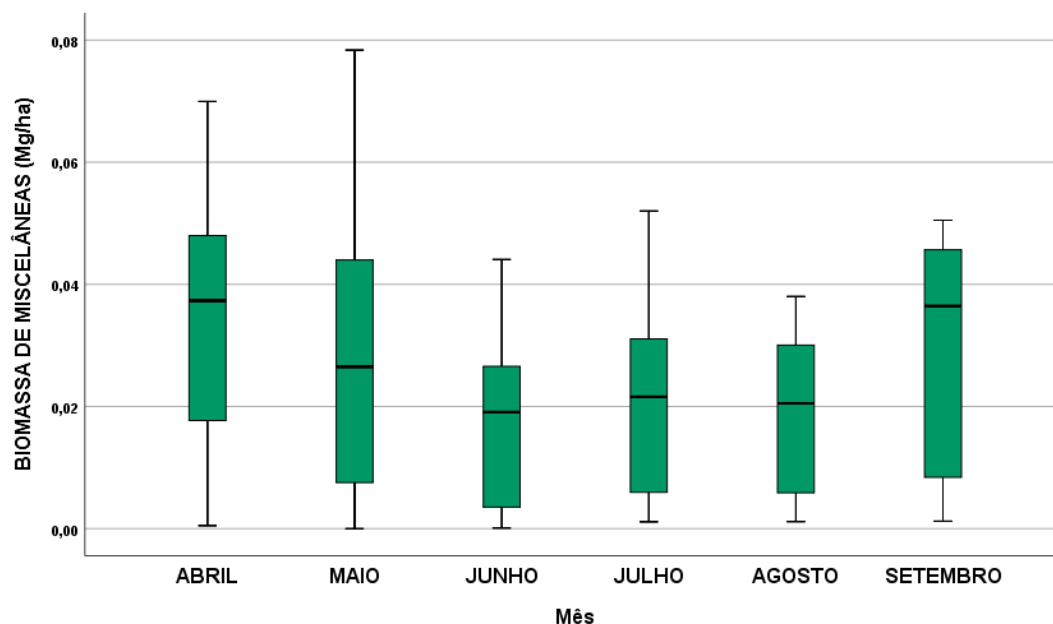
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 13 – Variação da biomassa de estípulas entre os meses amostrados no manguezal do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 14 – Variação da biomassa de miscelâneas entre os meses amostrados no estuário do Rio Pacoti.

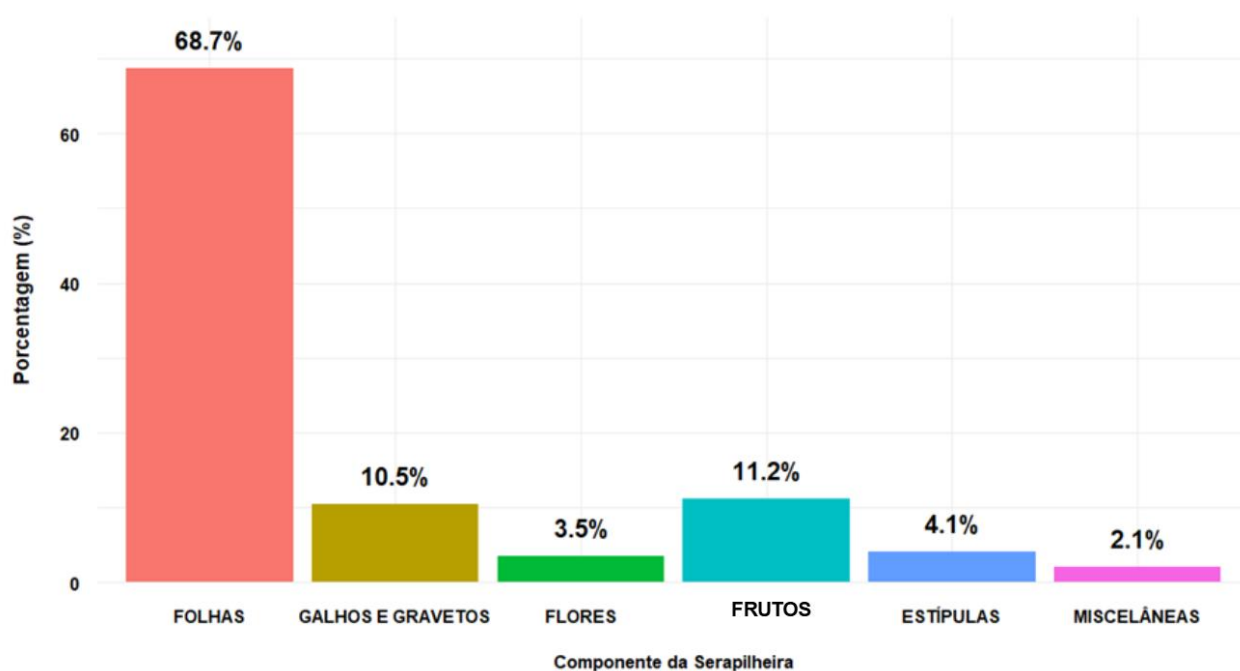


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.4 Características dos componentes da serapilheira no manguezal do Pacoti

Ao longo de seis meses de amostragem, foram coletados 8.282,53 g de serapilheira no manguezal do estuário do rio Pacoti. Entre os componentes analisados, o componente predominante foi o de folhas, que totalizou 5.687,94 g, correspondendo a 68,7% do total. Em seguida, destacaram-se os frutos, com 924,77 g (11,2%), e os galhos e gravetos, que somaram 868,53 g (10,5%). Outros componentes também foram registrados, como as estruturas flores, com 290,67 g (3,5%), e as estípulas, com 340,05 g (4,1%). Por fim, o menor valor foi observado na categoria de miscelâneas, que representou 2,1% do total coletado, com 170,58 g, conforme ilustrado na Figura 15.

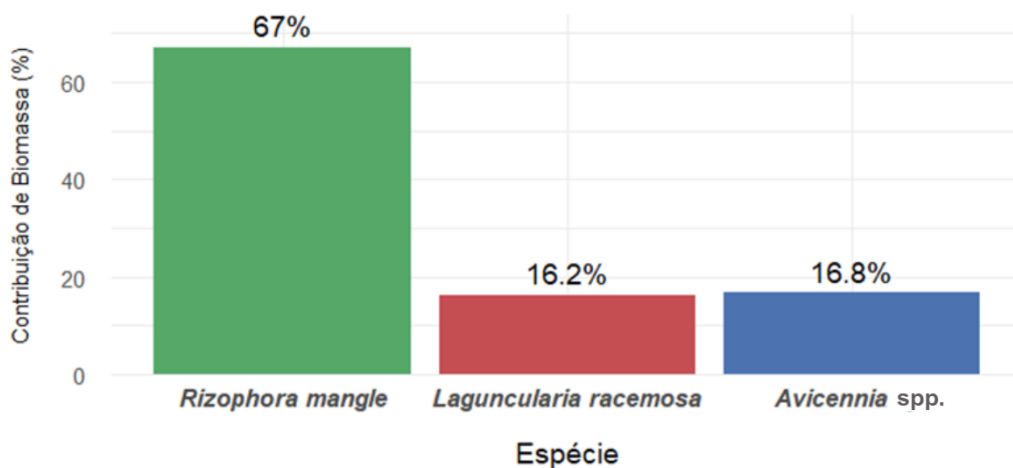
Figura 15 – Porcentagem da representatividade dos itens na serapilheira amostrada no estuário do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Sobre a contribuição de cada espécie para a biomassa da serapilheira, observa-se na Figura 16, que *R. mangle* foi a espécie com maior representatividade no aporte de biomassa durante o período de amostragem no manguezal do rio Pacoti, correspondendo a aproximadamente 67 % do total. As espécies *Avicennia* spp. e *L. racemosa* apresentaram contribuições semelhantes, com 16,8 % e 16,2 %, respectivamente.

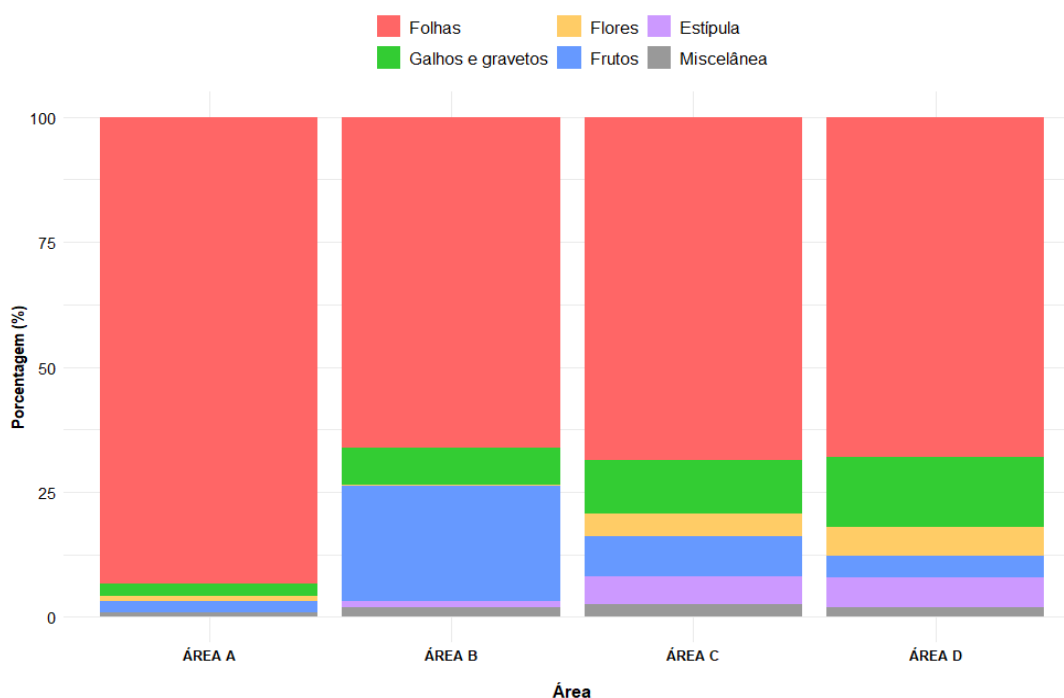
Figura 16 – Representatividade da biomassa das espécies na serapilheira amostrada no estuário do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Ainda, quando se analisa a composição dos itens em cada uma das áreas estudadas, a fração foliar predomina em todas as áreas amostradas, representando sempre mais de dois terços do material acumulado. Na Área A, as folhas respondem por mais de 90 % do aporte, enquanto galhos, frutos e outras frações aparecem apenas em proporções residuais e as estípulas não foram registradas. A Área B exibe composição mais diversificada: 66 % de folhas, 23 % de frutos, 7 % de galhos e gravetos, além de pequenas participações de flores, estípulas e detritos miscelâneas. Já nas Áreas C e D — ambas preservadas — apresentam composições parecidas, com as folhas correspondem a cerca de 69 % e 68 % do total, respectivamente, seguidas por galhos/gravetos e frutos, com flores e estípulas ocupando frações discretas (Figura 17).

Figura 17 – Representatividade da biomassa dos itens na serapilheira em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.



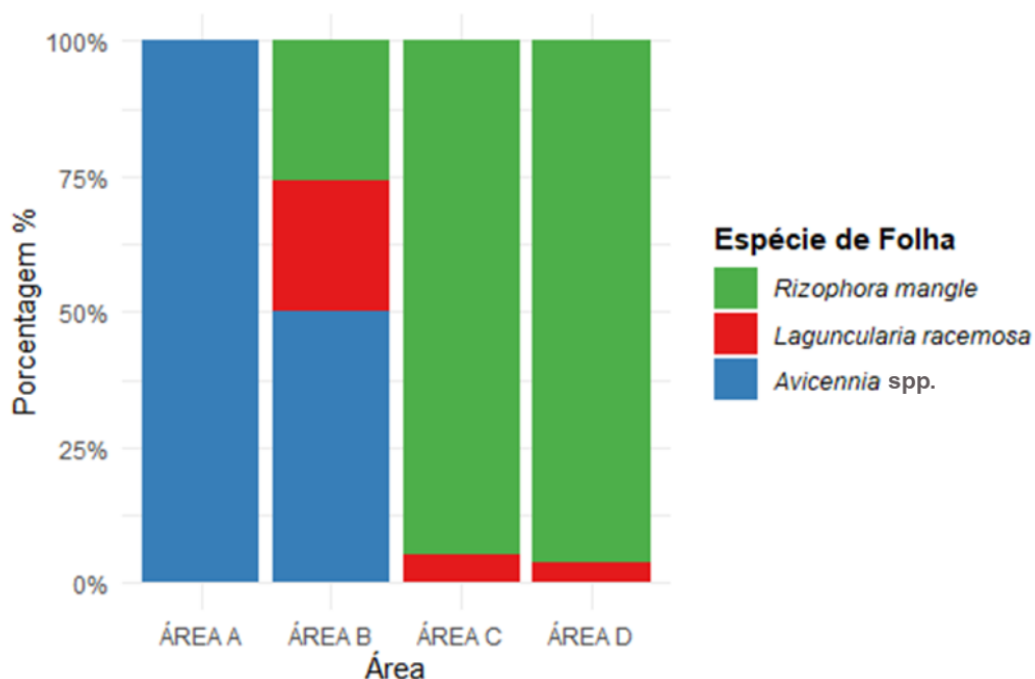
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que as frações de folhas, frutos e galhos representam os principais componentes da serapilheira em termos de aporte. Diante disso, optou-se por aprofundar a análise da contribuição de folhas e frutos em cada área, discriminando os dados por espécie, a fim de compreender melhor a composição da serapilheira nos diferentes ambientes avaliados. Ressalta-se que a mesma análise não foi realizada para a fração de galhos e gravetos, uma vez que não foi possível identificar a origem desse material em nível de espécie, limitando a categorização taxonômica desse grupo.

Sendo assim, a Área A, em processo de restauração, apresentou predominância exclusiva de folhas da espécie *Avicennia* spp. Na Área B, também em restauração, observou-se uma distribuição com 50 % das folhas provenientes de *Avicennia* spp. e os 50 % restantes divididos quase igualmente entre *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*. Já nas áreas preservadas (Áreas C e D), a composição foi bastante semelhante entre si, com clara predominância de *Rhizophora mangle*, que respondeu por mais de 90 % das folhas, enquanto

Laguncularia racemosa contribuiu com uma parcela significativamente menor (Figura 18).

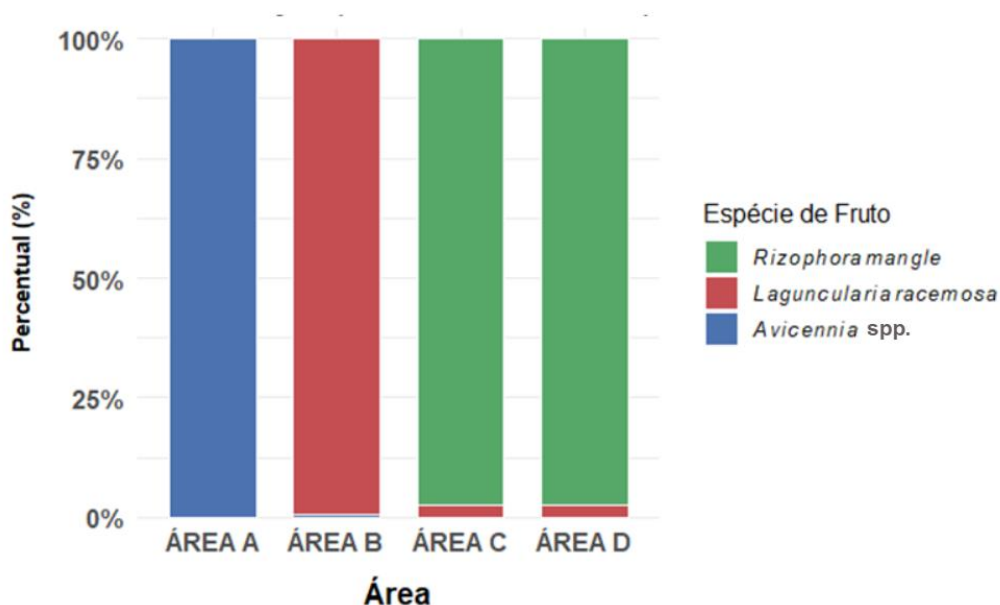
Figura 18 – Composição percentual de folhas por espécie em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em relação à fração de frutos, a Área A — em processo de restauração — apresentou exclusivamente frutos da espécie *Avicennia spp.* Na Área B, observou-se predominância quase absoluta de frutos de *Laguncularia racemosa*, que representaram cerca de 99 % do total, enquanto *Avicennia spp.* contribuiu com apenas 1 % e não houve registro de frutos de *Rhizophora mangle*. Já nas áreas preservadas (Áreas C e D), os resultados foram bastante semelhantes entre si, com forte predominância de frutos de *Rhizophora mangle* (97 %) e pequena participação de *Laguncularia racemosa* (3 %) (Figura 19).

Figura 19 – Composição percentual de frutos por espécie em cada área amostrada no estuário do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5 Carbono no manguezal do Rio Pacoti via serapilheira

A média geral de carbono da serapilheira na área de estudo foi de $0,492 \pm 0,086 \text{ Mg C ha}^{-1}$, com variação mensal entre $0,388 \pm 0,178 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (mínimo, em setembro) e $0,625 \pm 0,640 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (máximo, em maio), conforme apresentado na Tabela 5. O total acumulado de carbono ao longo dos 6 meses foi de $2,952 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (soma dos 6 meses). Considerando esse total semestral, realizou-se uma projeção aproximada do acúmulo anual, estimando-se um total de $5,904 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono. Por se basear em seis meses de amostragem, a projeção anual apresentada corresponde a uma estimativa, sujeita a pequenas variações ao longo do ano.

Tabela 5 – Média de carbono mensal via serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.

Mês	Carbono (Mg/ha)
Abril	0,497 ± 0,354
Maio	0,625 ± 0,640
Junho	0,466 ± 0,363
Julho	0,551 ± 0,365
Agosto	0,426 ± 0,297
Setembro	0,388 ± 0,178
Média geral	0,492 ± 0,086

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Para avaliar as diferenças no fluxo de carbono associado à serapilheira entre as áreas amostradas, foi calculada a média geral mensal de carbono para cada uma delas ao longo dos seis meses de monitoramento. Os resultados indicaram que as maiores médias de carbono foram observadas nas áreas preservadas, com destaque para a área D, que apresentou o maior valor médio ($0,662 \pm 0,169$ Mg C/ha), seguida da área C ($0,611 \pm 0,203$ Mg C/ha). Entre as áreas em processo de restauração, a área B obteve uma média intermediária ($0,598 \pm 0,318$ Mg C/ha), enquanto a área A registrou o menor aporte de carbono ($0,084 \pm 0,076$ Mg C/ha), conforme apresentado na Tabela 6.

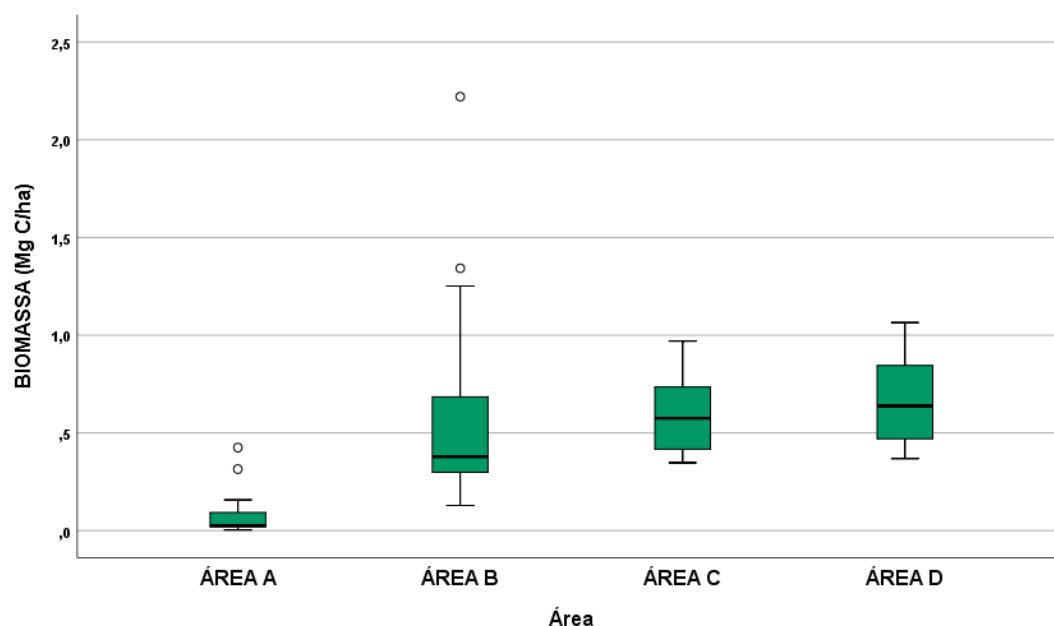
Tabela 6 – Médias de carbono em cada área via serapilheira no manguezal do Rio Pacoti.

Carbono por área (Mg C/ha)				
Mês	Área A	Área B	Área C	Área D
Abril	0,048 ± 0,040	0,230 ± 0,098	0,834 ± 0,122	0,725 ± 0,209
Maio	0,018 ± 0,013	1,050 ± 1,051	0,859 ± 0,017	0,650 ± 0,259
Junho	0,022 ± 0,005	0,308 ± 0,046	0,601 ± 0,098	0,935 ± 0,147
Julho	0,061 ± 0,034	0,864 ± 0,418	0,585 ± 0,014	0,695 ± 0,134
Agosto	0,196 ± 0,213	0,633 ± 0,536	0,400 ± 0,033	0,473 ± 0,058
Setembro	0,163 ± 0,145	0,502 ± 0,158	0,390 ± 0,037	0,496 ± 0,113
Média				
geral	0,084 ± 0,076	0,598 ± 0,318	0,611 ± 0,203	0,662 ± 0,169

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Adicionalmente, a análise estatística realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças significativas nos fluxos de carbono entre as áreas avaliadas [$X^2 = 37,413$; gl = 3; $p < 0,001$], considerando um nível de confiança de 95%. Os resultados desse teste demonstraram que a Área A apresentou valores de carbono significativamente inferiores em relação a todas as demais áreas ($p < 0,05$). Em contrapartida, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as áreas B, C e D ($p > 0,05$), sugerindo que essas áreas apresentam valores de carbono semelhantes (Figura 20).

Figura 20 – Comparação de carbono da serapilheira entre as áreas amostradas no manguezal do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Considerando que o carbono presente na serapilheira é estimado a partir da biomassa seca por meio de fatores de conversão previamente estabelecidos, muitas das análises realizadas para a biomassa refletem diretamente nos resultados de carbono. Isso ocorre porque há uma relação direta e proporcional entre a massa seca do material e o seu conteúdo de carbono, o que torna desnecessária a repetição integral de todas as análises estatísticas.

5. DISCUSSÃO

Analizando a produção anual de serapilheira no manguezal do Rio Pacoti, estimada em $14,25 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, nota-se que são compatíveis com valores relatados em outros estudos em manguezais brasileiros, como os de Nascimento *et al.* (2006), que registrou $11,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em manguezais do Pará, Santos (2013), com $13,53 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em áreas próximas ao rio São Francisco, e Chaves (2007), que encontrou média de $13,4 \pm 3,79 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em um manguezal na Baía de Guanabara.

Ainda, de forma geral, não foi observada variação sazonal expressiva na produção de serapilheira, que se manteve relativamente constante ao longo dos seis meses analisados. Uma possível explicação para esse padrão está relacionada à predominância da fração foliar, principal componente da serapilheira. Como as folhas são a maior porcentagem da serapilheira e não apresentaram variações sazonais significativas, é coerente que a produção total também tenha se mantido estável nesse período. Vale destacar, contudo, que apesar de ser um padrão comumente reportado, a sazonalidade da produção de serapilheira em florestas de mangue ainda é pouco compreendida (Bernini, 2008). Além disso, o período de amostragem relativamente curto, restrito a seis meses, pode não ter capturado toda a variabilidade anual do processo. Estudos de maior duração seriam importantes para uma avaliação mais robusta dos padrões sazonais.

Na comparação entre as áreas estudadas, observa-se que a Área A, em processo de restauração, apresentou os menores valores de biomassa de serapilheira. Esse resultado está relacionado ao seu histórico de degradação, além da vegetação composta por árvores esguias, de pequeno porte e ainda em desenvolvimento, o que compromete a produtividade primária e, consequentemente, reduz o aporte de matéria orgânica ao solo. Por outro lado, a Área B – também em restauração - apresentou produção de serapilheira consideravelmente mais elevada que a Área A e próxima à observada nas áreas preservadas, o que pode estar associado ao seu estágio mais avançado de regeneração e presença de árvores das três espécies de manguezal.

Ainda sobre a área B, em restauração, entende-se que esta teve quantitativos de serapilheira comparáveis a área C e D (Preservadas), e que isto pode ter acontecido pois de acordo com Mackey e Smail (1996), bosques jovens com alta

densidade de árvores, mesmo que estas sejam de menor porte, podem apresentar quantidades de serapilheira comparável a de bosques maduros. As áreas preservadas (C e D) apesar de apresentarem os maiores valores de biomassa, não diferiram estatisticamente da área em restauração (área B), mas seus valores superiores podem ser reflexo de suas características, como presença de árvores robustas com copas grandes, e tais características poderiam influenciar processos ecológicos, inclusive de produtividade primária (Costa, 2017).

Em relação à variação temporal dos itens, embora alguns estudos tenham apontado maior deposição de folhas no período seco (Gonçalves *et al.*, 2006; Lima, 2014) ou no período chuvoso (Larcher *et al.*, 2014), no presente estudo não foi observada uma sazonalidade estatisticamente significativa para esse componente. Essa ausência de padrão pode estar relacionada à limitação do tempo de amostragem.

Por outro lado, os propágulos apresentaram variação estatística significativa entre os meses avaliados, com maior produção em abril e maio, diferindo dos meses de julho, agosto e setembro. Esse padrão aparenta estar sincronizado com o período chuvoso na região, o que corrobora os achados de Fernandes *et al.* (2007), que destaca o papel das chuvas na propagação dos propágulos por hidrocoria. Essa relação direta entre a produção de propágulos e a pluviosidade também foi relatada em outros manguezais brasileiros (Longo, 2009), reforçando a possível influência dos fatores climáticos sobre esse componente da serapilheira.

Com relação a variação de flores, também não houve diferença estatística entre os meses e se manteve constante durante o período de amostragem. Em alguns estudos, a produção de flores parece estar associada ao período seco e a maior queda de folhas, pois com a maior queda de folhas é possível ter menor gasto de energia e maior investimento na reprodução (Fernandes *et al.*, 2007). No manguezal do Rio Pacoti, não foi observada essa sazonalidade nem para folhas e nem para flores, mas é possível que essa sazonalidade se mostre marcante com um período de amostragem maior e que tenha uma delimitação maior de meses.

Com relação a estípula, não houve variação ao longo dos meses, este componente está intimamente ligado à produção de folhas (especificamente de *Rhizophora mangle*) (Bernini, 2008), sendo então provável que a ausência de variação segue o padrão das folhas de *R. mangle*. Adicionalmente, com relação a galhos, gravetos e miscelânea, também não houve um padrão de variação entre os

meses, o que indica que esses componentes se mantiveram praticamente os mesmos em cada mês, e sem uma sazonalidade definida, assim como observado em outros estudos (Sessegolo, 1997).

A caracterização dos componentes da serapilheira, predominantemente composta por folhas, segue um padrão amplamente descrito na literatura, sendo observada por diversos autores em diferentes manguezais brasileiros (Fernandes, 2007; Nascimento *et al.*, 2006; Sessegolo, 1997; Larcher *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2006; Farias *et al.*, 2006). Em seguida, destacam-se os frutos e os galhos e gravetos, padrão também reportado por Bernini (2008).

Em relação à contribuição das espécies para a biomassa da serapilheira, *Rhizophora mangle* destacou-se como a principal responsável, tal predominância pode ser atribuída tanto à sua maior predominância nas áreas analisadas quanto ao seu porte mais desenvolvido nas áreas preservadas, com copas amplas e estrutura vegetativa densa, o que favorece uma maior produção e deposição de material vegetal. Por outro lado, a contribuição das espécies *Avicennia* spp. e *Laguncularia racemosa* pode estar refletindo características quanto a densidade populacional de tais espécies nas áreas amostradas.

A análise dos itens da serapilheira nas diferentes áreas amostradas revelou variações expressivas entre elas. Na Área A, houve uma forte predominância da fração foliar de *Avicennia* spp., e não foram registradas estípulas nessa área, o que pode ser explicado pela ausência de *Rhizophora mangle*. Os demais componentes, como galhos, frutos e flores, estiveram presentes de forma residual. Resultados semelhantes foram observados em outros estudos com bosques de *Avicennia* spp., onde a contribuição das folhas chegou a atingir 99 % da serapilheira total (Hena *et al.*, 2015). Por outro lado, a Área B apresentou maior diversidade quanto aos itens da serapilheira, com destaque para os frutos (23 %) e presença expressiva de galhos, flores e estípulas. Essa heterogeneidade pode estar relacionada à composição florística local, uma vez que a área abriga as três espécies típicas de manguezal (*Avicennia* spp., *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*). Os frutos de *L. racemosa* foram os mais representativos (99 %), o que pode estar associado ao período reprodutivo desta espécie, que, segundo Schmiegelow (2009), tende a apresentar picos durante a estação chuvosa. As áreas C e D, caracterizadas como preservadas, apresentaram composições semelhantes, com folhas representando cerca de 69 % e 68 % da serapilheira, respectivamente. A presença relativamente

equilibrada de galhos, frutos, flores e estípulas nessas áreas sugere um ecossistema estruturalmente mais maduro e estável.

Além disso, ao se analisar a composição de folhas e frutos por espécie em cada uma das áreas, observa-se que o aporte de material orgânico acompanha a composição florística local. Ou seja, as espécies que estão presentes em maior abundância em determinada área também são responsáveis pela maior parte da serapilheira ali produzida, refletindo a dominância dessas espécies na estrutura da vegetação.

O valor obtido para o aporte de carbono na serapilheira neste estudo foi de $5,904 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, resultado de uma extrapolação a partir de seis meses de amostragem realizados no manguezal do estuário do Rio Pacoti. Cabe destacar que o valor observado supera o estimado por Rovai *et al.* (2021) para um manguezal no sudeste do Brasil ($3,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e também se apresenta acima da média geral para manguezais do neotrópico, que é de aproximadamente $5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, conforme relatado por Ribeiro *et al.* (2019). Esse resultado é particularmente expressivo, uma vez que a área estudada apresenta histórico de perturbações antrópicas, tais como supressão vegetal e alterações hidrológicas. Desta forma, destaca-se que o manguezal do rio Pacoti tem capacidade elevada de entrada de carbono pela serapilheira, o que reforça o papel dos manguezais como importantes fontes de carbono. Considerando esse cenário, é plausível indicar que em condições futuras com a vegetação completamente estruturada, o potencial de sequestro de carbono da área poderá ser ainda mais elevado. Esse argumento é corroborado por Saenger (1993), que aponta que manguezais situados em latitudes tropicais, como o do estuário do Pacoti, tendem a apresentar maior produtividade primária, acúmulo de biomassa e complexidade estrutural, favorecendo o sequestro de carbono, ainda mais em condições ambientais ideais.

A comparação entre as áreas avaliadas no estuário do Rio Pacoti indicou que as áreas em processo de restauração (mais especificamente a área A) apresentaram aporte de carbono na serapilheira inferiores em relação às áreas preservadas. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que, em estágios iniciais de recuperação ecológica, a vegetação ainda se encontra em desenvolvimento estrutural e funcional, com menor porte, densidade e diversidade, o que implica em uma menor produção de biomassa e, conseqüentemente, menor aporte de matéria orgânica ao solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a produção da serapilheira e o fluxo de carbono em um manguezal localizado no estuário do rio Pacoti, Ceará, considerando diferentes coberturas vegetais, incluindo áreas preservadas e em processo de restauração ecológica. A partir dos dados obtidos ao longo de seis meses de monitoramento, foi possível estimar uma produção anual de serapilheira de $14,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e um fluxo de carbono de aproximadamente $5,904 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ destacando assim a relevância ecológica da área estudada mesmo diante de perturbações antrópicas.

A análise comparativa demonstrou que as áreas preservadas apresentaram maior produção de serapilheira e, conseqüentemente, maiores estoques de carbono, o que pode ser reflexo de sua maior complexidade estrutural, porte arbóreo e estabilidade ecológica. Por outro lado, as áreas em processo de restauração, especialmente a Área A, apresentaram menor aporte de biomassa e carbono, resultado condizente com seus estágios iniciais de regeneração, menor diversidade florística e estrutura vegetacional ainda em desenvolvimento. A composição da serapilheira seguiu padrões amplamente descritos na literatura, com predominância foliar e variações entre áreas refletindo a dominância das espécies locais, especialmente *Rhizophora mangle*.

Não foi observada uma sazonalidade marcante na produção total de serapilheira durante o período avaliado, embora o componente propágulo tenha apresentado picos de deposição nos meses mais chuvosos, sugerindo influência direta da precipitação sobre esse processo. Contudo, a curta duração do monitoramento pode ter limitado a detecção de padrões sazonais mais definidos, sendo recomendável o acompanhamento por ciclos anuais completos.

Diante dos resultados encontrados, conclui-se que a serapilheira desempenha um papel importante na dinâmica de entrada de carbono nos manguezais, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e carbono. O manguezal do estuário do Rio Pacoti apresenta um potencial significativo nesse contexto, especialmente considerando que, com a preservação efetiva e a restauração completa de suas áreas degradadas, sua capacidade de atuar como fonte e sumidouro de carbono podem ser ainda mais ampliados. A continuidade das ações de conservação e

recuperação ecológica, portanto, é essencial para fortalecer os serviços ecossistêmicos prestados por esse ambiente.

Por fim, este estudo reforça a importância da realização de novas pesquisas sobre a produção de serapilheira e aporte de carbono em manguezais do Nordeste brasileiro, com destaque para a região do Rio Pacoti. Investigações de longa duração e com maior abrangência espacial poderão contribuir para a compreensão mais precisa das variações sazonais e das respostas ecológicas desses ecossistemas às ações de restauração, fortalecendo o embasamento científico para políticas públicas de manejo e conservação dos manguezais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU HENA, M. K.; JAPAR SIDIK, B.; IDRIS, M. H.; NESARUL, M. H.; AYSHA, A.; ISLAM, M. S.; NAZMUL, H. Forest structure and litter production of naturally regenerated mangrove *Avicennia marina* in sub-tropical estuarine coast. **Journal of Environmental Biology**, v. 36, n. 5, p. 1199–1204, set. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26521566/>.
- ALKMIN, F. M. Colonialismo climático e financeirização do carbono: Reflexões sobre o REDD+ e a autonomia socioterritorial dos povos indígenas na Amazônia. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, [S. l.], v. 5, n. 2, 2023. DOI: 10.48075/amb.v5i2.31885. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/31885>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- ALONGI, D. M. Global meta-analysis of mangrove primary production: implications for carbon cycling in mangrove and other coastal ecosystems. **Forests**, v. 16, n. 5, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/f16050747>.
- ALONGI, D. M.; CLOUGH, B. F.; ROBERTSON, A. I. Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. **Aquatic Botany**, v. 82, n. 2, p. 121–131, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.04.005>.
- ARYAL, K. et al. REDD+ atrisk: Emerging ten question that REDD+ must answer. **Environmental Science & Policy**, Vol. 156, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103744>.
- BARBOSA, L. N.; LIMA, V. G. F.; FARIAS, J. F.; SILVA, E. V.. Caracterização geocológica do estuário do rio Pacoti-Ceará: ações para um planejamento integrado. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 971-980, 2016.
- BARROSO, H. de S.; BECKER, H.; MELO, V. M. M. Influence of river discharge on phytoplankton structure and nutrient concentrations in four tropical semiarid estuaries. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 64, n. 1, p. 37–48, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016101406401>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- BERNINI, E. **Produção de serapilheira em florestas de mangue no Norte Fluminense, RJ**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2013/11/Elaine-Bernini.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.
- BEZERRA, L. E. A.; MATTHEWS-CASCON, H. Population and reproductive biology of the fiddler crab *Uca thayeri* Rathbun, 1900 (Crustacea: Ocypodidae) in a tropical mangrove from Northeast Brazil. **Acta Oecologica**, v. 31, n. 3, p. 251-258, 2007.
- CABIANCHI, G. M. **Ciclagem de nutrientes via serapilheira em um fragmento ciliar do rio Urupá, Rondônia**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de

São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-05102010-144343/>. Acesso em: 04 jun. 2025.

CEMACE – Coordenadoria Estadual do Meio Ambiente do Ceará. Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti. 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/area-de-protecao-ambiental-do-rio-pacoti/>. Acesso em: 22 set. 2024.

CHAVES, F. O. **Caracterização e relações ambientais da produção de serapilheira em florestas de mangue da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro – Brasil.** 2007. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências – Oceanografia Biológica) – Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-19072007-133914/pt-br.php>. Acesso em: 8 jul. 2025.

COSTA, C. C. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 259–265, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000200008>.

COSTA, D. F. S. **Serviços ecossistêmicos prestados pelos manguezais do Rio Grande do Norte (Nordeste do Brasil).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas; CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. Anais. Campinas: Instituto de Geociências – Unicamp, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/22cb/472264f375265407819fd43e120a3a8ec856.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

DOMKE, G. M. et al. Estimating litter carbon stocks on forestland in the United States. **Science of The Total Environment**, v. 557–558, p. 469–478, 2016. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.090>. Acesso em: 2 jun. 2025.

DONATO, D.; KAUFFMAN, J.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v. 4, p. 293–297, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>

FARIAS, A. S. C.; FERNANDES, M. E. B.; REISE, A. Comparação da produção de serapilheira de dois bosques de mangue com diferentes padrões estruturais na península Bragantina, Bragança, Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 3, p. 53–60, dez. 2006. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142006000300006&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 12 jul. 2025.

FERNANDES, M. E. B.; NASCIMENTO, A. A. M.; CARVALHO, M. L. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, v. 31, p. 949–958, 2007.

FERREIRA, A. C.; FREIRE, F. A. M.; RODRIGUES, J. V. M.; BEZERRA, L. E. A. Mangrove recovery in semiarid coast shows increase of ecological processes

from biotic and abiotic drivers in response to hydrological restoration. **Wetlands**, v. 42, art. 80, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01603-0>.

FILHO, H. M. Aspectos científicos das relações internacionais. In: KLINK, Carlos (Org.). **Quanto mais quente, melhor? Desafiando a sociedade civil a entender as mudanças climáticas**. Brasília/São Paulo: Instituto Internacional de Educação do Brasil; Editora Peirópolis, 2007. p. 19–34. Disponível em: https://diasfilho.com.br/old/Qto_mais_quente/release_Quanto_mais_quente_melhor_14-11-2007.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The world's mangroves 1980–2005**. FAO Forestry Paper 153. Rome: FAO, 2007. Disponível em: <https://www.fao.org/4/a1427e/a1427e00.htm>. Acesso em: 15 jul. 2025.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Postos pluviométricos. 2010-2024. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 16 jul. 2025.

GONÇALVES, A. DO S.; FERNANDES, M. E.; CARVALHO, M. Variação anual da produção de serapilheira em bosques de mangue no Furo Grande, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi -Ciências Naturais**, v. 1, n. 3, p. 35-42, 18 dez. 2006. <https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/article/view/726/449>

HOWARD, J., HOYT, S., ISENSEE, K., TELSZEWSKI, M., & PIDGEON, E. **Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses**. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, Arlington, Virginia, USA, 2014.

ICMBIO. **Atlas dos manguezais brasileiros**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p. ISBN 978-85-61842-75-8.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Annex VII: Glossary. In: **INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE**. Climate change 2021 – The physical science basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. p. 2215–2256. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.022>. Acesso em: 10 jun. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2023: Synthesis report. Summary for policymakers**. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

JUSTO, A. C. D. **As árvores morrem de pé**. Pegadas do Tempo, [S.l.], 30 dez. 2016. Disponível em: <https://antonio-justo.eu/?p=9247>. Acesso em: 16 jul. 2025.

KAMRUZZAMAN, M.; BASAK, K.; PAUL, S. K.; AHMED, S.; OSAWA, A. Litterfall production, decomposition and nutrient accumulation in Sundarbans mangrove forests, Bangladesh. **Forest Science & Technology**, v. 15, n. 1, p. 24–32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/21580103.2018.1557566>.

KASHIAN, D. M., ZAK, D. R., BARNES, B. V., & SPURR, S. H. **Forest ecology**. John Wiley & Sons, 2023.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140–151, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2307/1939509>.

LAMPARELLI, C. C. **Dinâmica da serapilheira em manguezais de Bertioxa, região sudeste do Brasil**. 249 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.6.2018.tde-05022018-160319>. Acesso em: 15 jul. 2025.

LARCHER, L.; BOEGER, M. R. T.; NOGUEIRA, G.; REISSMANN, C. B. Produção de serapilheira em dois manguezais do estado do Paraná, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 1, n. 1, p. 53–64, jan./jun. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264514048> Produção de serapilheira em dois manguezais do estado do Paraná Brasil. Acesso em: 16 jul. 2025.

LIMA, J. F. **Dinâmica da produção de serapilheira em diferentes fitofisionomias da Floresta Nacional do Ibura, Sergipe**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ecologia, São Cristóvão, 2014. Disponível em: https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/7026/3/Jessica_Ferreira_Lima.pdf. Acesso em: 12 jul. 2025.

LIMA, L. H.; MARINO, M. T. R. D.; FAÇANHA, M. C.; PINHEIRO, L. S.; TEIXEIRA, A. B. S.; BATISTA, A. M. R.; LIBERATO, V. O. Identificação dos impactos ambientais e quantificação das formas de uso e ocupação do solo da Área De Proteção Ambiental Do Estuário do Rio Pacoti, Ceará, Brasil. **Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras**- Rio de Janeiro: FGEL-UERJ, p.124-136, 2019.

LIMA, M. S. P. **Caracterização de serapilheira e de fertilidade do solo na floresta piloto do campus de Alegre, após 12 anos de implantação**. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação Lato Sensu em Agroecologia e Sustentabilidade) — Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4582>. Acesso em: 15 jul. 2025.

LONGO, A. F. P. **Produtividade primária em bosque de franja e bacia no manguezal do Rio Ariquindá (Tamandaré – Pernambuco, Brasil)**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Recife. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/8213/1/arquivo1436_1.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.

MCDADE, L.; DANIEL T. D. and CARRIE A. K. 2008. Towards a comprehensive understanding of phylogenetic relationship among lineages of Acanthaceae s.l. (Lamiales). **American Journal of Botany**, 95(9): 1136-1152.

MACKEY, A. P.; SMAIL, G. The decomposition of mangrove litter in a subtropical mangrove forest. **Hydrobiologia**, v. 332, p. 93–98, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00016688>.

MAESTRI, M. P.; AQUINO, M. G. C.; CARNEIRO, F. S. Efeito da manipulação de nutrientes sobre as concentrações de carbono e nitrogênio da serapilheira em vegetação secundária, Amazônia Oriental. **BrazilianJournalofDevelopment**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 29646–29660, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-110>. Acesso em: 4 jun. 2025.

MOLISSANI, M. M.; CRUZ, A. L. V.; MAIA, L. P. Estimativa da descarga fluvial para os estuários do estado do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 53–60, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53938>. Acesso em: 16 jul. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas Brasil, 15 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 16 jul. 2025

NASCIMENTO, R. E. S. A.; MEHLIG, U.; ABREU, M. M. O.; MENEZES, M. P. M. Produção de serapilheira em um fragmento de bosque de terra firme e um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 3, p. 71–76, dez. 2006. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v1i3.730>. Acesso em: 16 jul. 2025.

RIBEIRO, R. A.; ROVAL, A. S.; TWILLEY, R. R.; CASTAÑEDA-MOYA, E. Spatial variability of mangrove primary productivity in the Neotropics. **Ecosphere**, v. 10, n. 8, art. e02841, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2841>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ROCHA, G. H. M. **Morfodinâmica de desembocaduras de sistemas estuarinos barrados: o caso do Rio Pacoti – Ceará**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Fortaleza, 2013. Disponível em: https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/60/2020/02/gustavo_rocha_dissertacao.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.

RODRIGUES, D. P.; HAMACHER, C.; ESTRADA, G. C. D.; SOARES, M. L. G. Variability of carbon content in mangrove species: Effect of species, compartments and tidal frequency. **Aquatic Botany**, v. 120, p. 346–351, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.10.004>.

ROVAL, A. S. et al. Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 479, art. 118553, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118553>. Acesso em: 20 jun. 2025

SAENGER, P., SNEDAKER, S.C. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litter fall. **Oecologia** 96, 293–299 (1993). Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00317496>

SANTOS, T.de O. **Florística, estrutura fitossociológica e produção de serapilheira do manguezal do rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, 2013. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/6564/1/TIAGO OLIVEIRA SANTOS.pdf>. Acesso em: 10 de jul. 2025.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; ROVAI, A. S.; COELHO-JUNIOR, C. Alguns impactos do PL 30/2011 sobre os manguezais brasileiros. In: SOUZA, G.; JUCÁ, K.; WATHELY, M. (Org.). **Código Florestal e a Ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber**. Brasília: Comitê Brasil em Defesa das Florestas e do Desenvolvimento Sustentável, 2012. p. 18–27. Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/revista_codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf. Acesso em: 12 jul. 2025.

SCHMIEGELOW, J. M. M. **Manguezais do sistema estuarino de Santos (SP): Estrutura e produção de serapilheira**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-20012010-145648/publico/Schmiegelow.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SELVA, E. C.; COUTO, E. G.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J. Litterfall production and fluvial export in headwater catchments of the southern Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, n. 3, p. 329–335, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467406003956>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SESSEGOLO, G. C. **Estrutura e produção de serapilheira do manguezal do Rio Baguaçu, Baía de Paranaguá-PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 123 p., 1997. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/1997/0347-M.pdf.

SILVA, W. B. **Uso da serapilheira como indicadora de recuperação ambiental em uma cronosequência de florestas nos neotrópicos: um estudo de caso na Amazônia brasileira**. 70 p. Dissertação (Mestrado em meio ambiente e desenvolvimento) - Universidade do vale do Taquari, Lageado, Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/ceb10bd1-b948-4d61-8317-fdd90ab935b7/content>.

SOUZA, H. E. N. **Influência da dinâmica atmosférica na produção de serapilheira em um manguezal da costa amazônica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, 2019. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFGA_c05128ec1e5d471d0b45051b8d7d6475. Acesso em: 12 jun. 2025.

TAVARES, D. S.; MAIA, R. C.; ROCHA-BARREIRA, C. A. Contribuição de *Melampus coffeus* (Gastropoda, Ellobiidae) na degradação da serapilheira do médio estuário do rio Pacoti, Ceará, Brasil / Contribution of *Melampus coffeus* (Gastropoda, Ellobiidae) to leaf litter decomposition in the middle estuary of the Pacoti river, Ceará, Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 101, n. 1-2, p. 56-60, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000100007>. Acesso em: 10 jun. 2025.

TONETTO, V. **O efeito estufa natural e artificial**. 2025. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Especialização em Ensino de Ciências nos Anos Finais do Ensino Fundamental – Ciência é 10! Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/291489>. Acesso em: 10 jun. 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Kyoto: UNFCCC, 1997. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/2409>. Acesso em: 07 jun. 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Paris Agreement**. Paris: UNFCCC, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025.