

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

JOÃO GABRIEL DE SOUZA

**A AGROFLORESTA COMO ESTRATÉGIA DE SEQUESTRO DE
CARBONO, PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E ATIVIDADE
MICROBIANA**

**RECIFE - PERNAMBUCO
2025**

JOÃO GABRIEL DE SOUZA

**A AGROFLORESTA COMO ESTRATÉGIA DE SEQUESTRO DE
CARBONO, PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E ATIVIDADE
MICROBIANA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Neide Kazue Sakugawa Shinohara

**RECIFE - PERNAMBUCO
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

S719a Souza, João Gabriel de.

A agrofloresta como estratégia de sequestro de carbono, produção de serapilheira e atividade microbiana / João Gabriel de Souza. – Recife, 2025.
46 f.; il.

Orientador(a): Victor Casimiro Piscoya.

Co-orientador(a): Neide Kazue Sakugawa
Shinohara.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Sequestro de carbono. 2. Recursos agrícolas - Conservação. 3. Fertilidade do solo. 4. Solo - Uso - Planejamento I. Piscoya, Victor Casimiro, orient. II. Shinohara, Neide Kazue Sakugawa, coorient. III. Título

CDD 620.8

JOÃO GABRIEL DE SOUZA

**A AGROFLORESTA COMO ESTRATÉGIA DE SEQUESTRO DE CARBONO,
PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E ATIVIDADE MICROBIANA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de janeiro de 2025.

Dr. Victor Casimiro Piscoya
Presidente da Banca e Orientador

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Moacyr Cunha Filho
Membro Externo - UFRPE

Dr. Alex Moraes de Souza
Membro Interno – UFRPE/PPEAMB

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha mãe, Maria Dapaz. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. À minha tia, Maria Izabel, que sempre esteve ao meu lado, o meu agradecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Victor Piscoya, pela paciência, pelas valiosas orientações e pelo constante incentivo ao longo de todo o processo. À minha coorientadora, Prof. Dr. Neide Shinohara, pela sabedoria compartilhada e pelo comprometimento com o desenvolvimento deste trabalho. Vocês foram peças-chave para a realização deste sonho.

Agradeço também aos professores Dr. Abelardo Montenegro e Dr. Benjamin Coelho meus professores da graduação, que também contribuíram para que eu trilhasse esse caminho na ciência.

Aos amigos de curso, Gean Lucena e Daniel Pereira, minha gratidão por cada momento de amizade, companheirismo e pelas trocas que enriqueceram não só este trabalho, mas também minha vida.

Por fim, dedico este trabalho a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação e realização deste sonho. A todos, meu mais sincero e profundo obrigado.

"A natureza nunca se apressa. Contudo, tudo é realizado."

(Lao Tsé)

RESUMO

SOUZA, João Gabriel de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, janeiro de 2025. **A agrofloresta como estratégia de sequestro de carbono, produção de serrapilheira e atividade microbiana.** Orientador: Victor Casimiro Piscoya. Coorientadora: Neide Kazue Sakugawa Shinohara.

O entendimento dos fluxos de carbono na biomassa é essencial para a gestão de uso do solo, a promoção de serviços ambientais, a exemplo do armazenamento e sequestro de carbono. Esta pesquisa buscou mensurar a contribuição do aporte de serrapilheira e no armazenamento do carbono proporcionada pelos Sistemas Agroflorestais (SAF's) com plantio de café sombreado, situados em um Brejo de Altitude em Pernambuco. A serrapilheira, formada por folhas, galhos e outros resíduos orgânicos, exerce um papel crucial na manutenção da fertilidade do solo devido a sua influência na ciclagem de nutrientes. As SAF's têm se mostrado eficazes na captura de carbono, atuando como sumidouros de CO₂ e contribuindo na mitigação das mudanças climáticas. Os objetivos deste estudo foram: quantificar o aporte de serrapilheira e os teores de carbono acima do solo nos SAF's e avaliar a atividade microbiana nesse sistema de uso do solo. A pesquisa destaca a importância dos SAF's no sequestro de carbono e na promoção da biodiversidade microbiana, o que favorece a sustentabilidade ambiental e a produção agrícola. A produção de serrapilheira apresentou variações temporais, tendo sido observado um aporte desse material na Mata Nativa Secundária (MNS) (858,06 kg/ha/mês) em comparação ao SAF (807,11 kg/ha/mês). Com relação a porcentagem das frações que compõem a serrapilheira (folhas, galhos, estruturas reprodutivas), a fração foliar foi predominante nos dois sistemas, constituindo cerca de 79% no SAF e 68% na MNS da serrapilheira aportada sobre o solo. Os resultados estão alinhados com a literatura a respeito do tema, evidenciando a contribuição das espécies vegetais para a deposição de matéria orgânica. No SAF, o estoque de biomassa viva acima do solo foi de 330 t/ha, correspondendo a 155,1 t/ha de carbono, valores superiores aos registrados na MNS (67 t/ha de biomassa e 31 t/ha de carbono). O SAF apresentou maior densidade microbiana em relação à MNS, especialmente de fungos. No período de estiagem, os fungos no SAF alcançaram média de $10,0 \times 10^5$ UFC/g, enquanto no período chuvoso houve redução significativa devido à lixiviação. Os fungos identificados incluíram *Aspergillus*, *Penicillium*, *Simplicillium* e *Trichoderma*. A elevada população microbiana nos dois sistemas de uso do solo (SUS) ocorre em virtude da manutenção das condições edáficas favoráveis, comprovado pela correlação positiva entre o número de UFC e o pH e a umidade do solo. Os resultados ressaltam a relevância dos SAF's como modelos

conservacionistas, promovendo maior produtividade do solo, estocagem de carbono e biodiversidade microbiana em comparação às MNS. Esses sistemas destacam-se como ferramentas importantes para a conservação ambiental, associado a produção agrícola com a preservação ambiental.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes; Conservação ambiental; Fertilidade do solo.

ABSTRACT

SOUZA, João Gabriel de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, **january**, 2025. **Agroforestry as a strategy for carbon sequestration, litter production and microbial activity**. Adviser: Victor Casimiro Piscoya. Co-advisers: Neide Kazue Sakugawa Shinohara.

Understanding carbon flows in biomass is essential for managing land use and promoting environmental services such as carbon storage and sequestration. This research sought to measure the contribution of litter and carbon storage provided by Agroforestry Systems (SAFs) with shaded coffee plantations, located in an altitude wetland in Pernambuco. Leaf litter, made up of leaves, branches and other organic residues, plays a crucial role in maintaining soil fertility due to its influence on nutrient cycling. SAFs have been shown to be effective in capturing carbon, acting as CO₂ sinks and helping to mitigate climate change. The aims of this study were to quantify the contribution of litter and above-ground carbon content in SAFs and to evaluate microbial activity in this land use system. The research highlights the importance of SAFs in sequestering carbon and promoting microbial biodiversity, which favors environmental sustainability and agricultural production. The production of leaf litter showed temporal variations, with a greater contribution of this material in the Secondary Native Forest (MNS) (858.06 kg/ha/month) compared to the SAF (807.11 kg/ha/month). With regard to the percentage of the fractions that make up the litter (leaves, branches, reproductive structures), the leaf fraction was predominant in both systems, making up around 79% in the SAF and 68% in the MNS of the litter contributed to the soil. The results are in line with the literature on the subject, showing the contribution of plant species to the deposition of organic matter. In the SAF, the stock of living biomass above ground was 330 t/ha, corresponding to 155.1 t/ha of carbon, higher than the values recorded in the MNS (67 t/ha of biomass and 31 t/ha of carbon). The SAF had a higher microbial density than the MNS, especially fungi. In the dry season, fungi in the SAF reached an average of 10.0×10^5 CFU/g, while in the rainy season there was a significant reduction due to leaching. The fungi identified included *Aspergillus*, *Penicillium*, *Simplicillium* and *Trichoderma*. The high microbial population in the two land use systems (SUS) is due to the maintenance of favorable soil conditions, as evidenced by the positive correlation between the number of CFU and the pH and humidity of the soil. The results highlight the importance of SAFs as conservation models, promoting greater soil productivity, carbon storage and microbial biodiversity compared to NMS. These systems stand out as important tools for environmental conservation, combining agricultural production with environmental preservation.

Keywords: Nutrient cycling; Environmental conservation; Soil fertility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização.....	22
Figura 2 - Distribuição das parcelas em campo.....	23
Figura 3 - Sequência das operações de coleta, separação, secagem em estufa e pesagem da serrapilheira.....	24
Figura 4 - Precipitação e produção mensal de serrapilheira no sistema agroflorestal e na mata nativa em regeneração, no período de outubro/2023 a abril/2024.....	31
Figura 5 - Porcentagem das frações de folhas, galhos e estruturas reprodutivas na serrapilheira no sistema agroflorestal.....	32
Figura 6 - Porcentagem das frações de folhas, galhos e estruturas reprodutivas na serrapilheira na mata secundária.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies arbóreas presentes nas parcelas amostrais	25
Tabela 2 - Disposição mensal de serapilheira em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária durante o período de estudo.....	30
Tabela 3 - Produção total (Kg ha^{-1}) de cada fração na formação de serapilheira, durante o período de estudo.....	32
Tabela 4 - Estimativa do estoque de biomassa viva e do carbono arbóreo em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária.....	33
Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre carbono, biomassa e circunferência.	34
Tabela 6 - Estimativa do estoque de biomassa viva e do carbono arbóreo em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária.....	35
Tabela 7 - Resultado da análise de correlação de Pearson (r) entre as variáveis físicos e biológico das amostras de solo em diferentes sistemas de uso do solo.....	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

HT	Altura Total
BDA	Batata Dextrose Ágar
B _{arb}	Biomassa Arbórea
Ca	Cálcio
C _{arb}	Carbono Arbóreo
NaCl	Cloreto de Sódio
DAP	Diâmetro de Altura do Peito
CO ₂	Dióxido de Carbono.
P	Fósforo
GEE	Gases do Efeito Estufa.
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
PCA	Plate Count Agar
K	Potássio
SAF's	Sistemas Agroflorestais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.1. Objetivos específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Sistemas Agroflorestais	16
3.2. Serapilheira.....	17
3.3. Sequestro de carbono	19
3.4. Atividade Microbiana.....	20
3.4.1. Microorganismos.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Área de Estudo.....	22
4.2 Produção de Serapilheira.....	23
4.3 Estimativa de biomassa e do carbono arbóreo.....	25
4.4. Análises Microbiológicas	26
4.4.1. Coleta e amostragem	26
4.4.2. Diluição seriada	27
4.4.3. Umidade e pH.....	28
4.4.4. Análises estatísticas	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Deposição da serapilheira	29
5.2. Estoque de biomassa viva e carbono acima do solo.....	33
5.3. Avaliação Microbiológica	34
6. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Para uma eficiente gestão do uso do solo, a compreensão do fluxo do carbono tanto no solo quanto na biomassa é importante na contribuição da prestação de serviços ambientais, incluindo o sequestro de carbono (Siarudin, 2020). A partir dos processos fotossintéticos, o carbono é absorvido da atmosfera, passando a fazer parte da biomassa vegetal sendo depositado no solo contribuindo para deposição de serrapilheira, sendo essa uma das principais fontes de nutrientes para o solo e para as plantas, e a disponibilidade de tais recursos é de vital importância para o desenvolvimento das plantas.

Desta forma, o solo pode funcionar como sumidouro de carbono da atmosfera (Bayer, 2011). Globalmente, cerca de 38,4 Gt (1 Gigatonelada = equivale a 1 mil milhões de toneladas) de carbono que estão armazenados no solo, o que o torna o maior reservatório de carbono terrestre (Stockmann, 2013). No entanto, a agricultura convencional provoca alterações na gestão dos solos ou nas condições edafoclimáticas levando a perdas significativas de carbono sob a forma de CO₂, resultando na variabilidade espacial e temporal das reservas de carbono no solo.

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) vêm ganhando destaque como uma alternativa de produção agrícola sustentável. Para Silva *et al.*, (2014), esses sistemas se aproximam de uma floresta natural, através do desenvolvimento de vários extratos vegetais. Dentre as várias definições de SAF's consideramos a proposta pelo International Center for Research in Agroforestry (ICRAF) em que afirma que Sistemas Agroflorestais são sistemas de uso do solo e práticas nas quais plantas perenes lenhosas são deliberadamente integradas com culturas e/ou animais na mesma unidade de gestão. A integração pode ser com um arranjo espacial ou em uma sequência temporal, onde normalmente existem interações ecológicas e econômicas entre os componentes lenhosos e não-lenhosos.

Os sistemas agroflorestais têm sido reconhecidos como sendo de especial importância na estratégia de sequestro de carbono, uma vez que o consorciamento de árvores e espécies agrícolas contribuem no acúmulo de serrapilheira no solo, sendo transformada pela ação de microrganismos em matéria orgânica, contribuindo dessa forma para a melhoria da qualidade do solo. Através desta maneira o viés da sustentabilidade ambiental com o da produção agrícola. Segundo a Fao (2018), os SAF's fornecem bens e serviços ambientais ou ecossistêmicos valiosos para a humanidade, do ponto de vista ecológico e econômico, que devem ser geridos de forma sustentável para beneficiar as futuras gerações.

Diante dos fatores expostos, os sistemas agroflorestais têm se mostrado uma alternativa viável para amenizar os danos causados pela agricultura convencional, recuperando e/ou mantendo a qualidade ambiental, a biodiversidade e as vantagens econômicas do agroecossistema (Alegre; Cassel, 1996; Jianbo, 2006). Demonstrando assim seu potencial na redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa através do sequestro de CO₂ promovido pelo acúmulo de carbono na biomassa viva e biomassa morta (serrapilheira), contribuindo dessa maneira para a mitigação das mudanças climáticas.

A serrapilheira está diretamente relacionada com o sequestro de carbono, uma vez que o aumento do estoque de serrapilheira pode ajudar a reduzir a quantidade de CO₂ na atmosfera. Desta maneira, pesquisas que têm por objetivo quantificar os teores de carbono presente na serrapilheira, atividade microbiana e os nutrientes em sistema agroecológico são bem necessários para um manejo adequado e um bom desenvolvimento das culturas agrícolas utilizadas neste sistema.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar as contribuições do manejo agroflorestal em SAF's com plantio de café sombreado, em Brejo de Altitude, na produção da serrapilheira, estoques de carbono e atividade microbiana.

2.1. Objetivos específicos

- Quantificar o aporte de serrapilheira em sistema agroflorestal;
- Quantificar os teores de carbono acima do solo em sistema agroflorestal;
- Quantificar os teores de carbono acima do solo em mata nativa secundaria;
- Avaliação da atividade microbiana no sistema agroflorestal.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sistemas Agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são formas de uso e manejo dos recursos naturais nas quais espécies lenhosas são utilizadas em associação deliberada com cultivos agrícolas ou com animais na mesma área, de maneira simultânea ou em sequência temporal (Organización Para Estudios Tropicais; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1986). Desta forma espécies perenes compõem a mesma unidade de produção com outras culturas agrícolas e/ou animais, em um determinado arranjo espacial e temporal.

Seu desenho na propriedade combina o cultivo de espécies florestais, nativas ou exóticas, com espécies agrícolas e/ou criação de animais numa mesma área. Como exemplo, pode-se citar a utilização de palmeiras (açai, bacaba, pupunha, babaçu e dendê), café (conilon e arábica), castanha-do-brasil, várias frutíferas (cupuaçu, acerola, guaraná e banana) e também diferentes espécies arbóreas e arbustivas para exploração madeireira e para uso múltiplo (Siqueira *et al.*, 2022). Baseando-se em manejos que imitam e reproduzem a dinâmica da ecologia e a gestão dos recursos naturais, proporcionando maiores benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Diante de uma demanda crescente de utilização dos solos agrícolas, o manejo inadequado pode ocasionar, de acordo com Cherubin *et al.*, (2015), um estado de degradação que, caso seja reversível, requer muito tempo e recurso para sua recuperação. Com o intuito de aliar a produção agrícola com a sustentabilidade algumas soluções econômicas e práticas agrícolas vem sendo repensadas. Uma dessas soluções potenciais são os sistemas agroflorestais, que podem propiciar aos produtores, retornos econômicos e maior conservação dos recursos naturais (Arantes *et al.*, 2017).

Segundo Mbow *et al.*, (2014), os sistemas agroflorestais (SAF's) podem mudar as características de solos degradados, aumentando sua fertilidade, com o aumento da fixação do carbono, garantindo subsistência da biodiversidade por meio do fornecimento de benefícios ecológicos e econômicos. Os SAF's diversificam as atividades econômicas na propriedade, aumentando a lucratividade por unidade de área e minimizando os riscos de perdas de renda por eventos climáticos e sazonais.

Nos agroecossistemas SAF's, tem-se o desenvolvimento essencial de solos vivos, biodiversos, e enriquecidos físico-quimicamente, que potencializam a ciclagem de nutrientes e

materiais, produzem alimentos sem adubos sintéticos, agrotóxicos ou hormônios sintéticos, gerando segurança alimentar, contribuindo para a saúde humana e ambiental. O solo deixa de ser tratado como um substrato e passa a ser um componente vivo da paisagem (Cardoso & Fávero, 2018; Primavesi & Primavesi, 2018) e esta forma de se relacionar com o solo muda a interação do agricultor na agroecossistema, que apreende os ciclos naturais e alia-se a sua dinâmica para produção de alimentos e a recuperação da vida no solo.

Conforme exposto nos benefícios explicitados no parágrafo anterior, muitos desses benefícios se deve ao aporte de biomassa, que segundo Yasin *et al.*, (2023) o incremento desse composto, quando comparados a cultivos convencionais podem chegar até 339% a mais em sistemas agroecológicos quando comparados a sistemas de cultivo tradicional favorecendo a estocagem de carbono e a ciclagem de nutrientes, além de contribuir para biodiversidades e promoção de serviços ecossistêmicos que se fazem presente em ambiente naturais. Tais serviços ambientais ou ecossistêmicos são valiosos para a humanidade, do ponto de vista ecológico e econômico, que devem ser geridos de forma sustentável para beneficiar as futuras gerações (Fao, 2018).

Em resumo, os sistemas agroflorestais são uma modalidade de uso do solo que oferece inúmeras vantagens baseados em técnicas que conduzem ao uso equilibrado do solo, apresentando diferenças significativas em relação a agricultura convencional, que apresentam diferenças significativas nas características microbiológicas, químicas e físicas, essas características relacionam-se com a capacidade destes solos de potencializar a mineralização e mobilização dos nutrientes disponíveis (Vasconcellos *et al.*, 2013).

3.2. Serapilheira

De acordo com Santos *et al.*, (2022), serapilheira é a camada que se localiza acima do solo, constituída de folhas, galhos, flores, frutos e miscelânea. Ela é um importante indicador de recuperação ambiental e é responsável por grandes processos no ecossistema florestal, como proteção do solo, retenção hídrica e ciclagem de nutrientes. Nesse contexto a presença da serapilheira nos sistemas agroflorestais é essencial para se alcançar solos vivos, bio diversos, e enriquecidos físico - quimicamente, que potencializam a ciclagem de nutrientes e materiais, produzem alimentos sem adubos sintéticos, agrotóxicos ou hormônios sintéticos, gerando segurança alimentar, contribuindo para a saúde humana e ambiental.

De acordo com Vargas *et al.*, (2018), pode-se dizer que a biomassa de serrapilheira é uma importante fonte de nutrientes para o solo e conseqüentemente para as plantas, desempenhando um papel tanto de equilíbrio como na recomposição ecológica, através da ciclagem de nutrientes. Neste contexto, fica claro que o estoque de biomassa reflete na fertilidade do solo. Sendo importante destacar que a ciclagem dos nutrientes se dá através da decomposição das folhas que possuem a maior porção dos nutrientes que serão disponibilizados às plantas nos mais diversos ecossistemas.

Estima-se que a serrapilheira produzida anualmente nos SAF's fornece cerca de 50,8 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N (Fernandes *et al.*, 2008); 57,6 kg ha⁻¹ano⁻¹ de Ca (Moreno et al., 2007), 4,5 kg ha⁻¹ano⁻¹ de Mg (Dutra *et al.*, 2007) e 6,7 kg ha⁻¹ano⁻¹ de P (Albuquerque *et al.*, 2007). O processo de decomposição libera, em até um ano, cerca de 89, 90 e 88% de N, P e K contidos na serrapilheira (Lima, 2009). Nesse contexto os sistemas agroflorestais buscam recriar condições presentes aos sistemas naturais, promovendo a oferta dos principais serviços ecossistêmicos presentes em ambientes não antrópicos (Vasconcelos & Beltrão, 2018).

Segundo Silveira et al., (2007), o incremento de nutrientes via serrapilheira, é um dos meios mais promissores da recomposição dessas funções ecológicas no melhoramento de solos agrícolas. Perreira (2024) verificou que o aumento do teor de M.O. no solo via serrapilheira, desencadeou o aumento dos teores de nutrientes disponível para comunidade vegetal, como: C, N, P, K, Ca e Mg no solo diminuindo o Al com o aumento progressivo da serrapilheira à medida que os SAF's ficam mais maduros. De acordo com Dores-silva et al., (2013) a incorporação natural de MO no solo, proveniente de resíduos gerados no próprio empreendimento, e o não revolvimento do solo incrementam o conteúdo de C no solo, auxiliam na retenção de umidade, dificultam o processo de erosão, favorecendo a fertilidade do solo e contribuindo para diminuição da emissão de CO₂ para atmosfera.

Para Pereira (2024), o aumento da biomassa em um sistema e conseqüente aporte de parte dessa biomassa no solo traz melhoria química física e biológica, mas também está relacionado a diversidade de espécies presente nessa unidade de manejo. Com isso verifica-se que a biodiversidade vegetal determina a abundância da biomassa disponível para ciclagem dos nutrientes no sistema, aumentando a atividade de micro e macro organismos proporcionando a biocenose do solo (Primavesi & Primavesi, 2018).

3.3. Sequestro de carbono

O sequestro de carbono é uma técnica crucial para combater as mudanças climáticas, pois envolve a captura e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. O carbono está presente na constituição de diversos gases do efeito estufa (GEE) e o aumento no teor das suas emissões vem ocorrendo de maneira significativa desde a revolução industrial e, como consequência, o gradual aumento da concentração dos Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera terrestre.

A restauração florestal e a inserção de novos indivíduos arbóreos são métodos eficazes para capturar CO₂, sendo uma alternativa de mitigação do aumento CO₂ na atmosfera. Para Hübner *et al.*, (2021), as florestas têm um potencial significativo para o sequestro de carbono devido à sua alta taxa de crescimento e biomassa, armazenando o carbono sequestrado no solo e na biomassa. Os sistemas agroflorestais, por apresentarem características semelhantes ao meio natural, podem sequestrar quantidades substanciais de carbono, apresentando-se como uma excelente alternativa de cultivo sustentável, e as vantagens oferecidas pela sua utilização são inúmeras, como o potencial de sequestro de carbono (C) tanto em sua biomassa, quanto no solo (Crespo, 2023), assim como ocorre nos sistemas naturais.

Por exemplo, uma pesquisa realizada no Cerrado Mineiro mostrou que SAF's implantados há dez anos apresentaram estoques de carbono no solo semelhantes aos de áreas de vegetação nativa (Ribeiro, 2019). Demonstrando a viabilidade ambiental desse sistema de produção, considerando que a agricultura é uma das principais fontes de emissões, fato esse verificado por (Mutuo *et al.*, 2005).

Segundo Catovsky (2002), quanto maior a diversidade de espécies dentro de um determinado ecossistema, maior será seu estoque de carbono na biomassa de serrapilheira em função da otimização do processo de fotossíntese proporcionado pela presença de espécies diferentes. O autor destaca que os sistemas agroflorestais multiestratificados têm capacidade de sequestro de carbono semelhante ao de ecossistemas naturais, ressaltando também a importância do ponto de vista conservativo, pois apresenta-se como uma alternativa importante para produção de alimentos com baixo impacto sobre os recursos naturais.

Em um experimento realizado por Brito *et al.*, (2018), para avaliar os estoques de carbono sob diferentes sistemas de exploração, como área cultivada com batata-doce (BD), área horta agroecológica (HA) e área com pastagem degradada (PD), em áreas localizadas no

município de Palmas–TO. Os resultados indicaram que os solos ocupados por pastagem degradada e horta agroecológica apresentaram melhores condições de umidade e matéria orgânica, resultando em maior estoque de carbono. Os valores encontrados para estoque de carbono foram: 25,68 BD (Mg ha^{-1}), 34,41 HA (Mg ha^{-1}), 39,05 PD (Mg ha^{-1}). Ficando claro a importância que os sistemas conservacionistas têm para o sequestro de carbono.

Conforme verificado, os sistemas agroflorestais apresentam-se como uma importante ferramenta no alcance de uma agricultura sustentável. Funcionando como sumidouro de carbono, sendo esse efeito potencializado quanto maior a diversidade de espécies que compõem a SAF (Fernandes, 2018). Segundo Torquebiau (1992), os SAF's também se destacam pela capacidade de fornecer diversidade de alimentos, aumentando a variabilidade genética, sendo relevante para a sustentabilidade a longo prazo.

3.4. Atividade Microbiana

Na composição do solo, há uma grande variedade de microrganismos considerados essenciais aos processos funcionais do sistema pedológico. As mais importantes funções, sobretudo são: a degradação de compostos orgânicos; a ciclagem de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio (Pereira, 2024). Entre os diferentes microrganismos, os fungos se apresentam como os componentes mais abundantes da microbiota do solo. Estes quantificam o equivalente a 70 e 80% da biomassa microbiana do solo devido ao expressivo diâmetro e extensa malha filamentosa. A ocorrência dos fungos está condicionada a fatores como pH, umidade e quantidade de matéria orgânica (Moreira; Siqueira, 2002).

De acordo com Cardozo *et al.*, (1992), o solo funciona como um grande reservatório de espécies microbianas, que entram em contato com as plantas via raiz. Em nível de solo, as raízes das plantas são importantes para grande número de espécies microbianas. Sendo de acordo com Schimitz (2003), a biomassa microbiana responsável pela decomposição dos resíduos vegetais, animais e microbianos no solo, sendo utilizado como fonte de energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para a síntese de substâncias orgânicas no solo, sendo assim um importante componente ecológico.

3.4.1 Microorganismos

Tendo em vista os benéficos proporcionados pelos microrganismos, Bueno et al., (2018), em experimento realizado no estado do Paraná constatou que a presença de fungos e bactérias tende a aumentar à medida que o sistema agroflorestal se torna mais maduros. E o aumento na quantidade desses microrganismos tende a favorecer a biodiversidade dessas populações. A biodiversidade segundo Cardoso (1992), é o responsável pelos chamados serviços ecossistêmicos, caracterizados pelo conjunto de funções do ecossistema e dos recursos biotecnológicos supridos de forma determinante pela microbiota, além de resistência a entrada de microrganismo patógenos conforme foi verificado por (Van Elsas *et al.*, 2012).

A eficácia dos microrganismos como indicadores da qualidade e maturidade dos SAF's, evidencia a direta correlação da qualidade do solo, com a quantidade de biomassa microbiana presente nele. Segundo Pulrolnik (2009); Oliveira; Reatto; Roig (2015), a presença desses microrganismos é considerada um indicador altamente sensível às mudanças provocadas pelo uso do solo, portanto utilizada como indicador da qualidade do solo, mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos para detectar com mais antecedência alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo (Stöcker *et al.*, 2017).

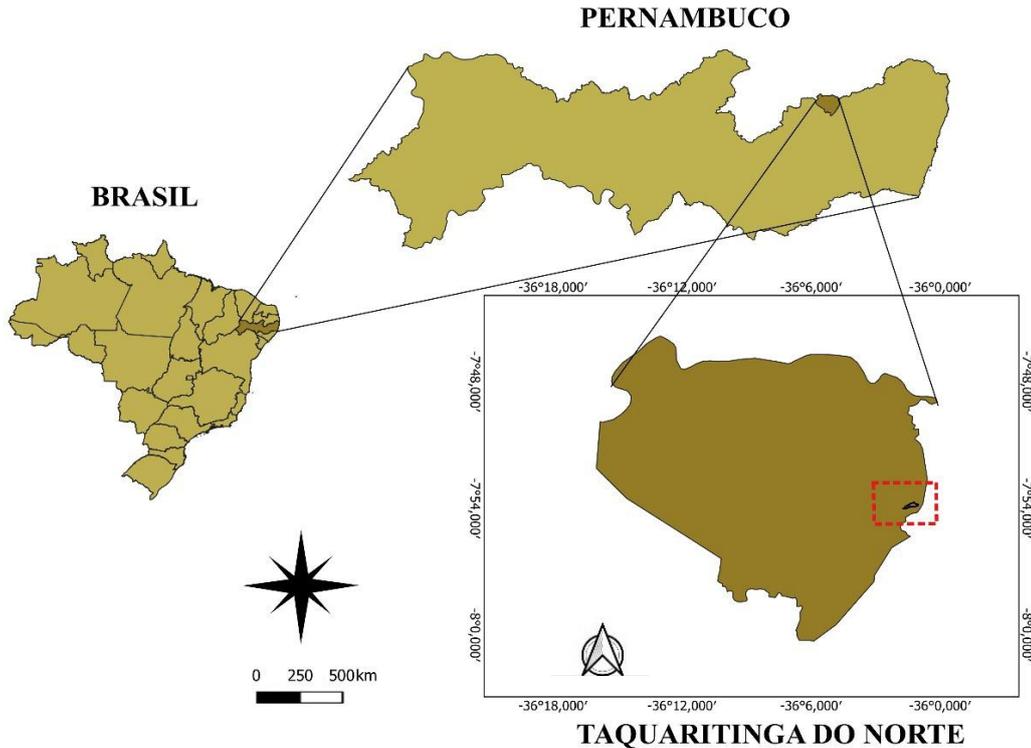
Em resumo a manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais é dependente da biomassa microbiana que atua como agente de transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia no solo (De-Polli; Guerra, 2008; Gama-Rodrigues, 1999). tendo o aporte de serrapilheira como um fator que contribui para essa diversidade de microrganismo no solo. Sendo os fungos, um importante componente da microbiota do solo, e um dos principais responsáveis pela decomposição da serapilheira (Costa, 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O experimento de campo foi conduzido em uma fazenda com vegetação semelhante a mata atlântica com plantio de café, em Brejo Altitude pertencente ao município de Taquaritinga do Norte (Figura 1). O município de Taquaritinga do Norte está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Alto Capibaribe do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado da Paraíba, a sul com Toritama, Caruaru e Brejo da Madre Deus, a leste com Vertentes, e a oeste com Santa Cruz do Capibaribe (BRASIL, 2005). A classificação do solo, segundo Rodrigues *et al.*, (2008) corresponde a um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Típico textura média/argilosa, com horizonte A proeminente, floresta subperenifólia e relevo montanhoso.

Figura 1 - Mapa de localização

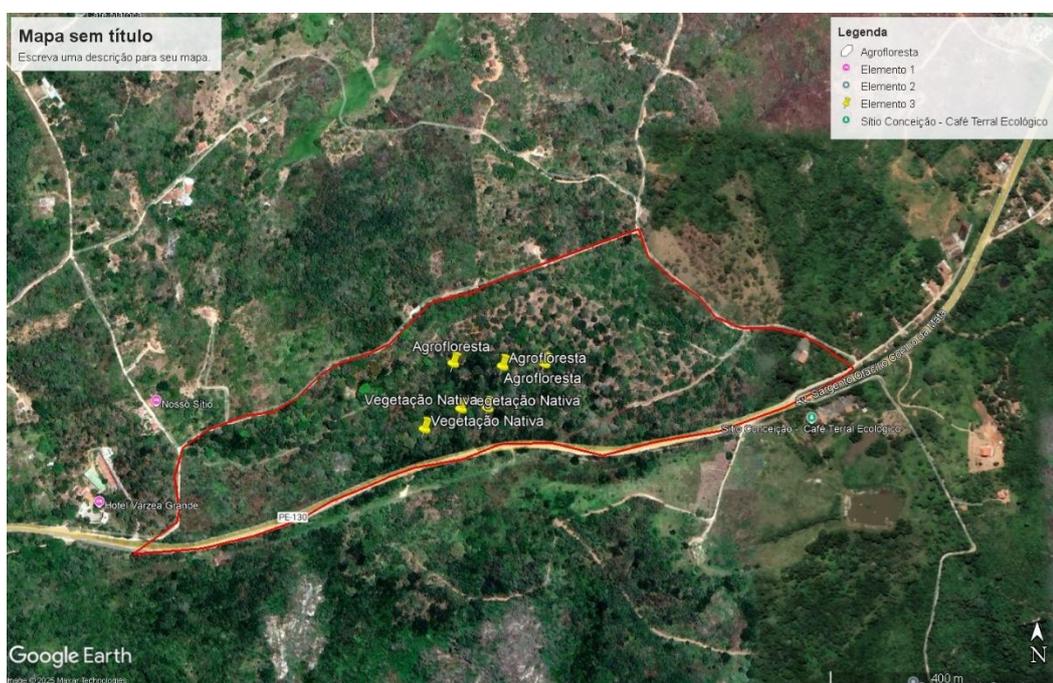


Fonte: Acervo do autor (2024)

O clima da região é classificado como Aw de acordo com Köppen (1948), caracterizado por um clima tropical com inverno seco. A área possui um relevo montanhoso com vales profundos e estreitos. As maiores precipitações ocorrem entre fevereiro e agosto, com uma média anual de 721 mm. A temperatura média anual é de 21°C, e a altitude varia entre 736 m e 1.100 m, segundo IBGE.

O experimento foi realizado em um sistema agroflorestal com plantio de café sombreado e como referência foi também amostrada a mata nativa secundária. Em cada sistema de uso do solo foram distribuídos aleatoriamente, três parcelas de 10 x 30 m, totalizando 300 m² por parcela, conforme mostrado na Figura 2. Dentro de cada parcela foram instalados cinco coletores, totalizando 30 caixa coletoras. Os coletores apresentavam dimensões de 1,00 m x 1,00 m, com os lados de madeira com altura de 15 cm e o fundo de tela de fibra de vidro com malha de espaçamento de 1 mm x 1 mm, suspenso a 15 cm acima da superfície do solo.

Figura 2 - Distribuição das parcelas em campo



Fonte: Acervo do autor (2024)

4.2 Produção de Serrapilheira

Para avaliar a produção de serrapilheira, foram instalados no interior de cada uma das parcelas cinco coletores, totalizando 20 caixa coletoras. Os coletores apresentavam dimensões de 1,00 m x 1,00 m, com os lados de madeira com altura de 15,0cm e o fundo de tela de fibra

de vidro com malha de espaçamento de 1 mm x 1 mm, suspenso a 15 cm acima da superfície do solo. O material acumulado nas caixas coletoras foi recolhido regularmente em intervalos de 30 dias, sendo transferido para sacos plásticos etiquetados.

As coletas foram realizadas em dias fixos de cada mês durante um período de 8 meses, entre outubro/2023 e maio/2024, abrangendo assim o período chuvoso e o período seco na região. Em cada coleta, a serapilheira foi recolhida, colocada em sacos estéreis e levada para o Laboratório do CITAR, pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), para a separação dos constituintes: folhas, estruturas reprodutivas, insetos e galhos (Figura 3).

Figura 3 - Sequência das operações de coleta, separação, secagem em estufa e pesagem da serapilheira.



Fonte: Acervo do autor (2024)

A separação realizada foi para verificar a deposição das diferentes frações vegetais ao longo do período de coleta. Após a triagem, as frações foram acondicionadas em sacos de papel, identificados, levados para estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até que mantivessem peso constante e foram passados em balanças de precisão (0,01g). Através da quantidade média de serapilheira encontrada nos coletores, foi possível estimar a biomassa devolvida mensal e anualmente ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) para o solo.

4.3 Estimativa de biomassa e do carbono arbóreo

Para o estudo do carbono acima do solo foram utilizados os mesmos blocos utilizados para a coleta de serapilheira tanto no sistema agroflorestal como na mata nativa. Toda a vegetação dentro da área dos blocos foi amostrada, estando os constituintes arbóreos mais conspícuos na Tabela 1.

Tabela 1 - Espécies arbóreas presentes nas parcelas amostrais

Nome Popular	Nome Científico
Pau-d'arco	<i>Tabebuia serratifolia</i>
Cajueiro	<i>Anacardium occidentale L</i>
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i>
Comudango	<i>Calomys tener</i>
Imbaúba	<i>Cecropia Sp.</i>
Seriguela	<i>Spondias purpurea</i>
Barriguda	<i>Ceiba glaziovii</i>
Espinheiro	<i>Acacia glomerosa</i>
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii.</i>
Cajá	<i>Spondias mombin</i>
Gameleira	<i>Ficus gomelleira</i>
Mutumba	<i>Guazuma ulmifolia.</i>
Carne-de-vaca	<i>Styrax leprosus.</i>
Araçá	<i>Psidium australe Cambess</i>

Fonte: Acervo do autor (2004)

Dentro de cada bloco, as plantas com diâmetro a altura do peito-DAP > 5cm (medido a 1,30m do solo), foram marcadas com numeração sequencial e tiveram suas medidas de DAP e de altura total (HT) mensuradas. As plantas que apresentaram vários perfilhos, onde, pelo menos, um estivesse dentro do nível de inclusão adotado, tiveram todos eles medidos para o cálculo do DAP equivalente .

$$DAP_{Equi} = \sqrt{(1Dap^2 + 2Dap^2 + nDap^2)} \quad (1)$$

Em que: DAP_{Equi} = diâmetro a altura do peito (cm); $1,2,nDap^2$ = diâmetros dos perfilhos a 1,30m do solo (cm)

A estimativa do carbono foi obtida a partir da quantificação da biomassa arbórea acima do solo, baseado nas variáveis dendrométricas de DAP e altura total das árvores mensuradas nos 6 blocos estudados. A biomassa foi estimada fazendo uso da equação alométrica desenvolvida por Fonsêca *et al.*, (2020), para a mesma região e tipo vegetacional em estudo.

$$B_{arb} = 1,5292 * DAP^{2,0601} * HT^{-0,2187} \quad (2)$$

Em que: B_{arb} = Biomassa arbórea (Kg); DAP = diâmetro a 1,30m do solo (cm); HT = altura total(m).

A biomassa arbórea acima do solo é um importante indicador da dinâmica do carbono terrestre, em que aproximadamente 50 % da biomassa total da planta consiste em carbono. No caso deste estudo, será realizada a conversão dos dados da biomassa em carbono arbóreo pelo fator 0,47

$$C_{arb} = B_{arb(kg)} * Fc \quad (3)$$

Em que: C_{arb} = Carbono arbórea (KgC.árv); B_{arb} = biomassa arbórea (Kg.árv); Fc = Fator de correção de 0,47.

4.4. Análises Microbiológicas

4.4.1. Coleta e amostragem

Foram realizadas coletas de solo em seis blocos, sendo quatro pontos amostrados em cada bloco. Três blocos estavam localizados em um sistema agroflorestal e os outros três em

uma área de mata nativa secundária. A primeira coleta ocorreu no período de estiagem (setembro de 2023) e a segunda no período chuvoso (maio de 2024). Durante as coletas, a temperatura do solo foi medida com um termômetro digital, e em seguida, o solo foi coletado em quatro pontos equidistantes por bloco.

As amostras foram coletadas a uma profundidade de 0,5-5,0 cm, com auxílio de uma pá, e armazenadas em potes plásticos previamente esterilizados, etiquetados e encaminhados para o laboratório de Biotecnologia do Centro de Apoio à Pesquisa (CENAPESQ) da UFRPE em recipientes isotérmicos para realização de análises microbiológicas. A partir das quatro amostras de solo por bloco, totalizando 24 amostras de cada período (estiagem e Chuva), foi utilizada para fazer o isolamento dos fungos. A codificação foi alfa numérico pro quadrantes de área de cultivo e da mata preservada.

4.4.2. Diluição seriada

No laboratório, no mesmo dia da coleta, as amostras de solo foram submetidas à uma série de diluição. Para realização de tal procedimento, os materiais utilizados para as operações foram esterilizados em autoclave por 30 min a 121 °C a 1 atm, e os meios de culturas e a solução salina por 15 min a 121°C. Durante a realização da diluição seriada, plaqueamento, inoculação em caldo e antibiograma, fez-se uso de equipamentos de proteção individual, como luva, jaleco e máscaras.

Com as amostras em laboratório iniciaram-se os procedimentos para a diluição seriada, onde foram pesados 10g de solo das amostras e colocadas em erlenmeyer contendo 90 ml de solução tamponante NaCl (0,9%) estéril(elermayer), e com o auxílio de um bastão de vidro o solo foi diluído na solução (10^{-1}) com posterior agitação. Após, com uma pipeta se realizou a retirada de uma alíquota de 1 mL e transferiu-se para o primeiro tubo de ensaio contendo 9 mL de solução salina (tubo de ensaio).

Foram realizadas diluições decimais sucessivas até 10^{-6} . Posteriormente, alíquotas de 0,1 mL das diluições 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} foram transferidas, em triplicata, para placas de Petri contendo o meio Batata Dextrose Ágar (BDA) suplementado com cloranfenicol para inibir o crescimento bacteriano. O espalhamento das amostras foi efetuado com uma alça de Drigalski previamente esterilizada, permitindo o desenvolvimento exclusivo de colônias fúngicas. A densidade foi determinada por meio da contagem direta nas placas, e os resultados foram

expressos em Unidades Formadoras de Colônia por grama de solo (UFC/g de solo), conforme descrito por Tortora *et al.*, (2019).

Para a determinação da densidade bacteriana foram realizadas diluições sucessivas até a concentração de 10^{-6} . Tendo sido na sequência amostrado uma alíquota de 0,1 mL das diluições 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} e transferidas, em triplicata, para placas de Petri com meio BDA totalizando 9 placas por cada ponto de coleta, e um somatório total de 144 inoculadas com BDA. Para determinação bacteriológica foi utilizado o Plate Count Agar (PCA), via o método de semeadura por profundidade, que consistiu na transferência de uma alíquota de 1 mL da amostra para placa, sendo posteriormente vertido cerca de 20mL do meio sobre cada placa (inoculação). Tendo sido realizado a inoculação para as diluições de 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} , com 3 repetições, totalizando 144.

As placas com meio BDA, já inoculadas, foram colocadas em uma incubadora BOD a 28°C por 48h. Já as placas com meio PCA foram mantidas em estufa bacteriológica a 36°C por 48h. Decorrido o tempo de incubação, realizou-se a contagem e classificação das colônias de acordo com sua coloração (FREITAS, 2022).

As colônias de fungos predominantes foram isoladas para obter culturas puras. Uma amostra da colônia foi transferida para uma nova placa de Petri com meio de cultura PDA e incubada por mais cinco dias. A identificação dos isolados foi realizada por microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), onde pequenas amostras das colônias foram coradas e fotomicrografias.

4.4.3. Umidade e pH

Para as análises de umidade e pH, foram seguidos os protocolos descritos no “Manual de Métodos de Análise de Solo” da Embrapa (2017).

Para determinação da umidade, foi pesado 20 g de solo úmido em um cadinho de peso conhecido e, em seguida, levados à estufa de ar forçado por 72 horas a 105°C. Após esse período, o cadinho foi resfriado em dessecador e pesado novamente com o solo seco. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O pH foi medido por potenciometria, utilizando um eletrodo combinado imerso em uma suspensão solo:líquido na proporção de 1:2,5. Pesaram-se 10 g de solo (TFSA), que foram adicionados a um copo plástico de 100 mL. Em seguida, adicionou-se 25 mL de água

destilada. A amostra foi agitada com um bastão de vidro individual por aproximadamente 60 segundos e deixada em repouso por 1 hora. Após o período de repouso, cada amostra foi levemente agitada com um bastão de vidro, os eletrodos foram mergulhados na suspensão homogeneizada, e a leitura do pH foi realizada.

4.4.4. Análises estatísticas

Para verificar se havia diferenças nas quantidades produzidas de serrapilheira mensalmente no sistema produtivo e na mata nativa, os dados foram organizados em tabelas e submetidos a testes de normalidade avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk. Seguindo uma distribuição normal, os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey com um nível de significância de 5%, empregando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para comparação dos dados de biomassa e carbono acima do solo, e correlacionar as médias de unidades formadoras de colônias de fungos e bactérias com os atributos químicos e físicos dos solos sob os diferentes usos utilizou-se o teste de correlação de Pearson (r). A classificação dos valores resultantes de r foi definida como: $r = (0,1 - 0,3)$ - correlação fraca, $r = (0,4 - 0,6)$ - correlação moderada e $r = (0,7 - 1)$ - correlação forte (DANCEY E REIDY, 2006). O coeficiente de correlação foi obtido utilizando o software estatístico Jamovi.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Deposição da serapilheira

Para os meses analisados (outubro de 2023 a abril de 2024), a produção média mensal de serapilheira aportada foi de 807,11 Kg ha⁻¹ e 858,06 Kg ha⁻¹ respectivamente para o sistema agroflorestal e mata nativa (Tabela 2). O mês com maior produção no sistema agroflorestal foi outubro com aporte de 1028,54 Kg ha⁻¹ e o mês de dezembro caracterizou-se como o mês com menor produção, com uma deposição de 503,66 Kg ha⁻¹. Com relação ao incremento de serapilheira na mata nativa secundária, ficou caracterizado com um maior aporte em março quantificando 1057,75 Kg ha⁻¹ e a menor adição no mês de dezembro, com um valor de 706,36 Kg ha⁻¹.

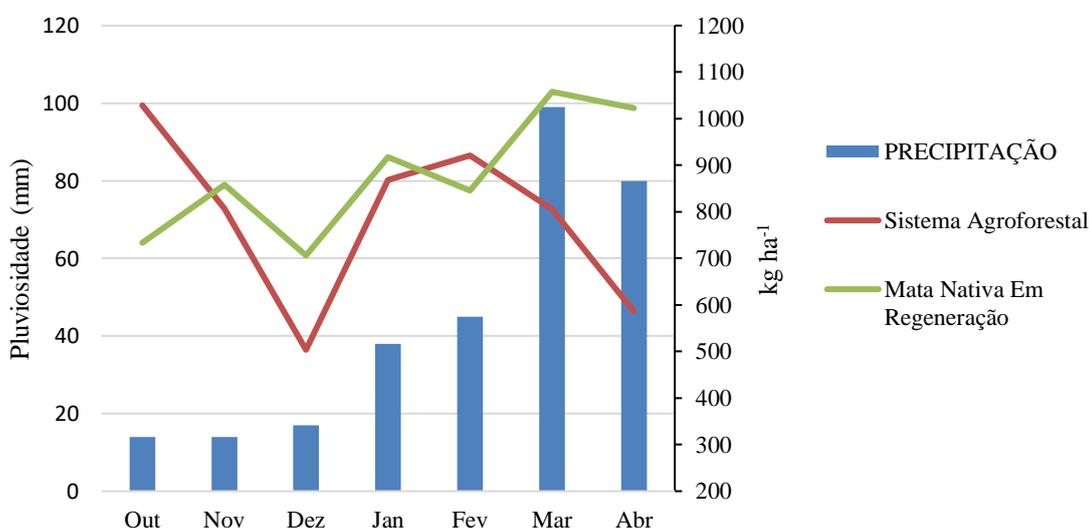
Tabela 2 - Disposição mensal de serrapilheira em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária durante o período de estudo.

Mês	Sistema Agroflorestal	Mata Nativa Secundária
	(Kg ha ⁻¹)	(Kg ha ⁻¹)
out/23	1028,54 b	734,06 a
nov/23	807,11 ab	858,06 b
dez/23	503,66 a	706,36 a
jan/24	868,63 ab	917,11 c
fev/24	921,28 ab	845,72 b
mar/24	805,95 ab	1057,78 d
abr/24	585,97 ab	1023,24 d
Média	807,11	858,06

Letras iguais na mesma coluna não há diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

A deposição da serrapilheira foi contínua ao longo do período analisado, apresentando variações em seu comportamento durante o período de estudo, com influência da precipitação (Figura 4). Observou-se que o sistema de mata nativa apresenta uma maior deposição de serrapilheira quando comparado com sistema agroflorestal, existindo, porém, uma tendência de acompanhamento da produção de serrapilheira nos dois sistemas de uso do solo até o mês de fevereiro. Após o início do período chuvoso verificou-se que o aumento no aporte de serrapilheira na mata nativa secundária, alcançando um pico no mês de março, fato que não foi observado no sistema agroflorestal.

Figura 4 - Precipitação e produção mensal de serrapilheira no sistema agroflorestal e na mata nativa em regeneração, no período de outubro/2023 a abril/2024.



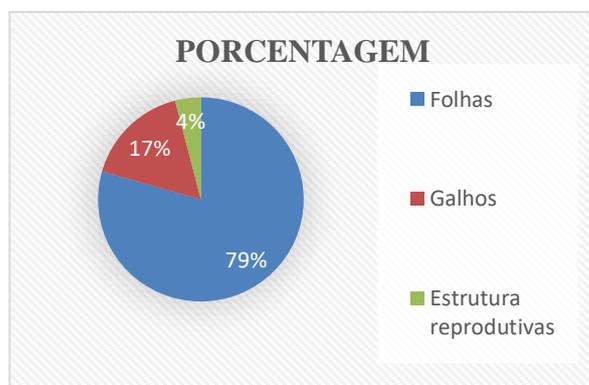
Fonte: Acervo do autor (2024)

A produção de serapilheira no sistema agroflorestal e na mata nativa secundária corresponde à faixa de produção de florestas tropicais, listadas por Brown e Lugo (1982) que verificou médias mensais variando de 83,33 a 1275 kg. ha⁻¹. Os valores do presente estudo também se aproximam dos encontrados em experimento realizado em sistemas agroflorestais na mata atlântica por Costa (2015), que quantificou um valor médio mensal de 707,16 Kg ha⁻¹. Andrade *et al.*, (2020) em experimento realizado em fragmento da mata atlântica observou uma produção média mensal de serapilheira durante o período observado foi em torno de 0,618 Mg ha⁻¹. É provável que essas diferenças sejam devido à variação da composição vegetal nas áreas estudadas, com a presença de espécies com diferentes comportamentos fenológicos que contribuíram mais significativamente na produção da serapilheira (Souto, 2006).

O grande aporte de serapilheira e nutrientes aos solos dos SAFs é produto da alta diversidade vegetal, incluindo seu componente arbóreo. O dossel formado pela diversidade de espécies vegetais proporciona cobertura do solo através da deposição de camada densa de matéria orgânica, gerada continuamente pela queda de folhas e ramos das diferentes culturas, contribuindo para conservar o solo e manter sua fertilidade e produtividade (Costa, 2015).

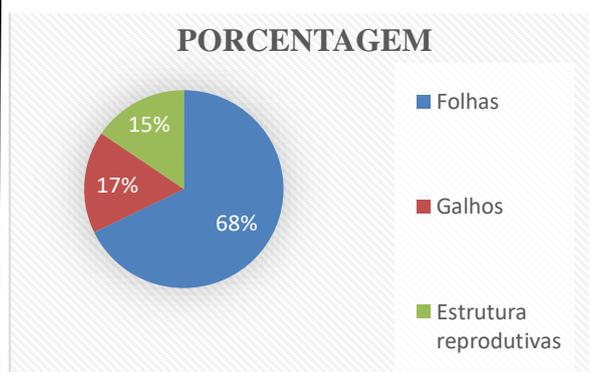
Quanto ao fracionamento da serapilheira, os resultados dos dois sistemas estudados estão apresentados na Figura 5 e 6. De acordo com a amostragem total de serapilheira, no sistema agroflorestal a fração foliar apresentou maior produção, com uma produção média igual a 626,57 Kg ha⁻¹ (79%), seguido da fração de galhos, cuja produção foi 130,27 Kg ha⁻¹ (17%) e em terceiro registrou-se a produção da fração estruturas reprodutivas, com 31,88 kg ha⁻¹ (4%). Com relação ao fracionamento da serapilheira na mata nativa secundária, assim como nos SAF's, a fração foliar representou a maior parcela da serapilheira com um aporte médio de 563,95 Kg ha⁻¹ (68%), seguido da fração galhos, com aporte de 138,88 Kg ha⁻¹ (17%) e por ultimo estruturas reprodutivas, com o incremento de 128,87 Kg ha⁻¹ (15%).

Figura 5 - Porcentagem das frações de folhas, galhos e estruturas reprodutivas na serrapilheira no sistema agroflorestal



Fonte: Acervo do autor (2024)

Figura 4 - Porcentagem das frações de folhas, galhos e estruturas reprodutivas na serrapilheira na mata secundária



Fonte: Acervo do autor (2024)

As folhas foram encontradas como o principal material formador da serrapilheira, sendo verificado diferença significativa entre os valores médios. A Tabela 2 apresenta o teste de Tukey para a comparação da medias de cada fração da serrapilheira, com destaque para a fração folhada.

Tabela 3 - Produção total (Kg ha^{-1}) de cada fração na formação de serrapilheira, durante o período de estudo.

	Fração Média	
	Sistema Agroflorestal (Kg ha^{-1})	Mata Nativa Secundária (Kg ha^{-1})
Folhas	626,57 a	563,95 a
Galhos	130,27 b	138,88 b
Material de reprodução	31,88 c	130,53 b

Letras iguais na mesma coluna não há diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

Proporções encontrada nos sistemas agroflorestal foram constatadas por Santos (2022), em estudo de um sistema agroflorestal no bioma amazônico, as folhas foram a fração que mais influenciaram na formação da camada de serrapilheira, tendo 66,7% de representatividade de todo o material aportado nos coletores, seguido do material reprodutivo com 16,5% do total, e da fração de galhos com 11,3%; onde o pesquisador encontrou 66,16% de folhas, 19,4% de galhos e 14,44%; Ferreira *et al.*, (2007) analisaram a serrapilheira em área de bosque no município de Itambé – PE e detectaram que material formador da serrapilheira é constituído principalmente por folhas, representando, em média, 70,9% dos resíduos depositados, os frutos

constituíram cerca de 15,4% dos resíduos depositados em um ano, enquanto a deposição da fração galhos constituiu em torno de 5,7% da serapilheira.

5.2. Estoque de biomassa viva e carbono acima do solo

A biomassa viva acima do solo (AGB) estimada para o sistema agroflorestal foi de 330 t.ha⁻¹, correspondendo a um carbono acima do solo (AGC) de 155,1 t.ha⁻¹. Com relação aos dados encontrados na mata nativa secundária, a quantidade biomassa viva foi de 67 t.ha⁻¹, enquanto de carbono foi de 31t.ha⁻¹, conforme apresentado na Tabela 4. O estoque de biomassa acima do solo no sistema agroflorestal e na mata nativa secundária corresponde à faixa de produção da mata atlântica, listadas por Fonseca (2020) que verificou de 38,9 Mg ha⁻¹ a 431,4 Mg h⁻¹. Assim como a biomassa viva acima do solo, o estoque de carbono aéreo também corresponde à faixa de produção para a mata atlântica do autor citado anteriormente, em que a variação de carbono foi de 18,28MgC ha⁻¹ a 202,8 MgC ha⁻¹.

Tabela 4 - Estimativa do estoque de biomassa viva e do carbono arbóreo em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária.

	Área	
	Sistema Agroflorestal	Mata Nativa Secundária
Biomassa viva acima do solo (t.ha ⁻¹)	330	67
Estoque carbono acima do solo (t.ha ⁻¹)	155,1	31

Fonte: Acervo do autor (2004)

Crespo (2022), em experimento realizado na mesma área de estudo, encontrou um estoque de carbono abaixo do solo variando de 6,79 g/kg a 26,20 g/kg, com os maiores estoques de C no solo tendo sido observados na profundidade de 0–20 cm, embora não tenha sido identificada diferença significativa entre as profundidades. Para a autora esses valores estão associados à elevada densidade do solo e a influência do relevo na dinâmica do carbono.

A estimativa de estoque de carbono em árvores vivas no sistema agroflorestal foi superior aos encontrados por Justino (2024), em experimento realizado em uma área de fragmento da mata atlântica no município de Botucatu-SP. O referido autor mensurou uma média de carbono em árvores vivas de 99,0 Mg Cha⁻¹ em áreas de floresta tardia e uma média de 55,1 MgCha⁻¹ para florestas com muita perturbação. Valores semelhantes foram encontrados por Souza (2023) em fragmento da mata atlântica no município de Ewbank da Câmara-MG.

Os valores obtidos neste estudo estão dentro do que se observa em outros trabalhos realizados no mesmo bioma, a exemplo de Denardi (2023) e Azevedo *et al.*, (2018). No entanto foi observado que os valores de biomassa viva e carbono na mata nativa secundária, foram menores aos encontrados no sistema agroflorestal, assim como pelos valores encontrados pelos autores referidos anteriormente.

A menor quantidade de biomassa e carbono presente na mata nativa secundária em relação ao sistema agroflorestal presente na mesma unidade de manejo, se deve ao nível de desenvolvimento dos componentes arbóreos. As variáveis como biomassa aérea viva e o estoque de carbono nesses compartimentos, melhoram com o decorrer do tempo, tanto para áreas em ressauro como para os FAF's. Portanto, tendem a aumentar de acordo com o desenvolvimento dos reflorestamentos, mostrando a importância dessas formações florestais no sequestro de carbono atmosférico (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Com a finalidade de verificar a influência da biomassa no estoque de carbono foi realizada uma análise de correlação entre os estoques de C estimado e variáveis com a biomassa acima do solo e a circunferência das árvores (Tabela 5). Os estoques de C estimados apresentaram alta correlação positiva com a biomassa e a circunferência das árvores. Demonstrando assim a viabilidade ambiental do modelo de sistema conservacionista adotado, apresentando valores de estocagem de carbono acima do solo superior ao encontrado na mata secundária e próximo aos da mata primária para o mesmo bioma.

Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre carbono, biomassa e circunferência.

	Carbono	Biomassa	Circunferência
Carbono	1	0,997	0,988
Biomassa		1	0,099
Circunferência			1

Fonte: Acervo do autor (2004)

5.3. Avaliação Microbiológica

Os resultados do estudo mostraram um elevado número de microrganismos nos dois sistemas de uso do solo em conjunto com as suas Unidades Formadoras de Colônia (Tabela 6). Analisando os microrganismos no período seco, referente ao cálculo da UFC para esse período, o número total de colônias formadas foi maior no sistema agroflorestal (\bar{x} $10 \cdot 10^5$ para fungos e

uma média de $4,9 \cdot 10^5$ para bactérias), em comparação com a mata nativa secundária (\bar{x} $8,5 \cdot 10^5$ para fungos e uma \bar{x} $3,0 \cdot 10^5$ para bactérias).

Já no período chuvoso, referente ao cálculo ao UFC para esse período, foi verificado uma redução no número total tanto de fungos como de bactérias, em ambos os sistemas de uso do solo. No sistema agroflorestal (\bar{x} $3,6 \cdot 10^5$ para fungos e \bar{x} $3,1 \cdot 10^5$ para bactérias), em comparação com a área de mata nativa (\bar{x} $2,3 \cdot 10^5$ para fungos e \bar{x} $2,9 \cdot 10^5$ para bactérias).

Tabela 6 - Estimativa do estoque de biomassa viva e do carbono arbóreo em sistema agroflorestal e em mata nativa secundária.

Grupo Microbiano	SUS	Coleta	
		1	2
Bactérias	SAF's	4,9 A a	3,1 A a
UFC 10^{-5} g^{-1}	MNs	3 Aa	2,9 Aa
Fungos	SAF's	10,0 A a	3,6 A a
UFC 10^{-5} g^{-1}	MNs	8,5 A a	2,3 A b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. $P = 0,05$ pelo teste de Tukey. Colunas - letras maiúsculas. Linhas - letras minúsculas

Estatisticamente através do teste de Tukey não houve diferença significativa entre os períodos (seco e chuvoso) e as áreas estudadas (SAF e Mata secundária). Com relação a população fúngica, na área de mata nativa secundária, apresentou diferença estatisticamente significativa no período chuvoso que pode ser explicado pela variação das condições ambientais. Este resultado é confirmado por Torsvik & Ovreas (2002), que afirmam a existência de variação de diversidade microbiana ao longo das estações do ano, já que em cada estação parece ocorrer uma comunidade microbiana dominante acompanhada de outras pouco abundantes que, muitas vezes, estão abaixo do nível de detecção dos métodos.

A redução da quantidade de microrganismo no período com maior pluviosidade pode ser explicada pela influência que o processo de lixiviação exerce, no qual há uma retirada parcial dos componentes do solo, os quais interferem na atividade tanto dos fungos como nos das bactérias. Silva (2010), estudando solo permanentemente coberto com vegetação, também identificou uma redução elevada na quantidade de fungos em períodos de maior precipitação pluviométrica.

Embora não exista diferenças significativas entre as áreas, o estudo indica uma quantidade maior da população microbiana no sistema agroflorestal, o que segundo Pina (2016), pode ser explicado pelo fato de que o Sistema Agroflorestal demonstra uma capacidade de favorecer positivamente a produtividade do solo, uma contribuição efetuada pelas espécies de

árvores que auxiliam na redução de perda de componentes como a matéria orgânica, água e nutrientes, influenciando diretamente nos processos microbiológicos do solo (YOUNG, 1989). O que explica a presença elevada desses organismos em número superior ao da mata nativa secundária.

O resultado do estudo indica uma predominância de fungos comparado ao de bactérias, no sistema agroflorestal, resultado semelhante foi encontrado por Amarante et al., (2010) em experimentos realizados em solo de Terra Preta Arqueológica (TPA) também chamadas de ‘Terra Preta de Índio’ em reserva florestal no estado do Pará, considerando que os brejos de altitudes pernambucanos foram marcados por presença indígenas.

A predominância dos fungos pode ser explicada, conforme Stöcker *et al.*, (2017), pela sua maior capacidade de colonizar solos de sistemas agroflorestais, mesmo aqueles com alto grau de degradação. Além dessa alta capacidade de colonização, os fungos, segundo Ruivo et al., (2002), são positivamente influenciados pelo elevado teor de umidade e argila do solo. Isso é corroborado pelos dados obtidos, considerando que a área do experimento apresentava um teor de umidade de 23% para o sistema agroflorestal e 20% na mata, o que influencia a densidade dos microrganismos, pois eles são sensíveis às mudanças nas condições edáficas.

Avaliando as correlações existentes (Tabela 7), através dos coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre os atributos físicos e biológicos avaliados nos diferentes usos do solo. A correlação entre fungos e bactérias foi positiva, sendo considerada um valor de correlação forte tanto na área 1, sistema agroflorestal, ($r = 0,61$) como na área 2, mata nativa, ($r = 0,98$).

Na área 1, notou-se correlação positiva entre o número de colônias bacterianas e a umidade do solo ($r = 0,265$), assim como o pH ($r = 0,318$) e a temperatura ($r = 0,021$). Já a correlação entre o número de colônias fúngica e a umidade do solo foi positiva ($r = 0,099$), assim como o pH ($r = 0,575$) e a temperatura ($r = 0,176$).

Na área de mata, o número de colônias bacterianas e fúngicas correlacionou-se positivamente com o teor de umidade com os valores de r igual a 0,61 e 0,57, respectivamente para bactérias e fungos. Com relação ao pH as colônias de bactérias apresentaram uma correlação negativa ($r = -0,196$), ou seja, o aumento de uma das variáveis diminuiu a presença da outra, para o UFC dos fungos, no entanto a correlação foi positiva com um $r = 0,575$. Na área 2 a temperatura não influenciou em nenhuma das duas populações microbiana analisada.

Tabela 7 - Resultado da análise de correlação de Pearson (r) entre as variáveis físicos e biológico das amostras de solo em diferentes sistemas de uso do solo

Area 1	Bactéria	Fungos	Umidade	pH	Temperatura
Bactéria	1	0,61	0,265	0,318	0,021
Fungos		1	0,099	0,575	0,176
Umidade			1	0	0,236
pH				1	-0,045
Temperatura					1
Area 2	Bactéria	Fungos	Umidade	pH	Temperatura
Bactéria	1	0,98	0,61	-0,196	0
Fungos		1	0,572	0,575	0
Umidade			1	0,68	0
pH				1	0
Temperatura					1

Fonte: acervo do autor (2024)

Nos resultados da quantificação e identificação da população de fungos das amostras, verificou-se que os fungos predominantes foram os do gênero *Aspergillus*, *Penicillium*, *Simplicillium* e *Trichoderma* porém em menor ocorrência foram também identificados os gêneros *Acremonium*, *Geotrichum* e *Cladosporium*. Resultado semelhante foi observado por Silva *et al.*, (2011) em experimento realizado em um sistema agroflorestal no município de Belo Jardim-PE, resultados semelhantes foram observados por Passos *et al.*, (2018), estudo foi realizado no município de Belterra, pertencente a mesorregião do Oeste do Pará, no Estado do Pará.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que os dois sistemas de utilização do solo contribuem de maneira significativa para a produção de serapilheira e o armazenamento de carbono na biomassa viva. Destacando a importância dessas áreas para a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos naturais. A análise do aporte de serapilheira revelou que ambos os sistemas apresentaram semelhanças nos valores registrados em florestas tropicais, evidenciando a influência de fatores climáticos, como a precipitação, e das características específicas de cada sistema.

Com relação as frações que compõem a serapilheira, apresentou uma predominância fração foliar, seguida pelas frações de galhos e estruturas reprodutivas.

A biomassa viva acima do solo e os estoques de carbono, apresentaram valores maiores no sistema agroflorestal do que os da mata nativa secundária, demonstrando o potencial desse sistema em promover o armazenamento de carbono atmosférico em virtude da existência dos indivíduos arbóreos. A correlação positiva entre biomassa, circunferência das árvores e estoque de carbono (atestado pelo teste de Pearson) reforça a viabilidade ambiental do modelo conservacionista adotado.

Os sistemas agroflorestais apresentaram um maior quantitativo de fungos e bactérias em relação à mata nativa secundária. Os fungos foram predominantes em ambos os sistemas, sendo influenciados por fatores como o período (chuvoso e seco), umidade e pH do solo.

A análise da composição microbiana identificou gêneros com potencial relevante para os processos ecológicos e a qualidade do solo, como *Aspergillus*, *Penicillium* e *Trichoderma*.

Esses achados reforçam a importância dos sistemas agroflorestais e da manutenção das áreas de florestas, sejam elas nativas ou secundárias, na manutenção da funcionalidade ecológica e na mitigação das mudanças climáticas, assegurando seus benefícios ecológicos, econômicos e sociais a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. M. D. D., CARNEIRO, R. G., LOPES JÚNIOR, J. M., QUERINO, C. A. S., & MOURA, M. A. L. Dinâmica do aporte e decomposição de serapilheira e influência das variáveis meteorológicas em um fragmento de Mata Atlântica (floresta ombrófila) em Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1499-1517, 2020.
- AMARANTE, C., RUIVO, M. L., OLIVEIRA, M. L., LEONCIO, R., & MOURA, Q. Diversidade microbiana em solos de Terra Preta Arqueológica. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.
- ALBUQUERQUER, L.F.; DUTRA, L.A.; MORENO, A.M.B.; FERNANDES, F.E.P.; CARVALHO, F.C.; ARAÚJO FILHO, J.A. **Concentração de fósforo na manta orgânica em um sistema agrossilvipastoril no nordeste brasileiro**. VIII Encontro de Iniciação da Universidade Estadual Vale do Acaraú, 2007. Anais. p29.
- ALEGRE, J. C.; CASSEL, D. K. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 58, n. 1, p. 39-48, 1996.
- ARANTES, P. B., RIGHI, C. A., BOSI, C., DOMENICO, C. I., & GALVEZ, V. A. R. Agroflorestas familiares no Vale do Ribeira: diagnóstico produtivo, estratégias e desafios. **REDD–Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, 2017.
- AZEVEDO, A. D., FRANCELINO, M. R., CAMARA, R., PEREIRA, M.G., & dos Santos Leles, P. S. ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA. **Floresta**, v. 48, n. 2, 2018.
- BAYER, C., AMADO, T. J. C., TORNQUIST, C. G., CERRI, C. E. C., DIECKOW, J., ZANATTA, J. A., NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, n. 5, p. 55-118, 2011.
- BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado de Pernambuco. **Relatórios dos municípios de Poção, Jataúba, Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe**, 2005.
- BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T.; SOUSA, R. N.; SOUSA, R. N. (2018). **Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado**. Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, 5(Especial), 114-124.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in global carbon cycle. **Biotropica**, v. 3, n. 14, p. 161–187, 1982.
- BUENO, P. A. A., OLIVEIRA, V. M. T., GUALDI, B. L., SILVEIRA, P. H. N., PEREIRA, R. G., FREITAS, C. E. S., ... & Schwarcz, K. D. (2018). Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, 2(2), 40-44.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, Siu Mui; NEVES, Maria Cristina Prata. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 1992.

CARDOSO, I. M. & FÁVERO, C. (editores técnicos). Solos e Agroecologia. v. 4. Brasília: Embrapa / ABA, 2018.

CATOVSKY, S.; BRADFORD, M. A.; HECTOR, A. **Biodiversity and ecosystem productivity: implications for carbon storage**. *Oikos*, v.97, n.3, p. 443-448, 2002.

CHERUBIN, M. R., EITELWEIN, M. T., FABBRIS, C., WEIRICH, S. W., SILVA, R. F. D., SILVA, V. R. D., & BASSO, C. J. (2015). Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 39, 615-625.

COSTA, P. M. O. **Dinâmica de Serapilheira e diversidade de fungos em solo de sistema agroflorestal**. 2015. 94f. (Doutorado em Biologia do Fungos) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CRESPO, A., SOUZA, M., da SILVA, M. A. B., & Souza, M. N. Ciclo do carbono e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícolas: revisão de literatura, 2023.

CRESPO, C. M. G. **Avaliação Da Qualidade do Solo e Atividade Microbiana em Sistema Agroecológico com Produção de Café em Brejo de Altitude**. 2020. 121f. (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

DANCEY, C. & REIDY, J. **Estatística sem matemática: para psicologias usando SPSS para windows**. 3ª ed. Porto Alegre -RS: Artmed. 608p, 2006.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 263-76, 2008.

DENARDI, L. S. **Florística e estoque de carbono em áreas em processo de restauração florestal no noroeste do Rio Grande do Sul**. 2023. 40f. (Bacharel em ENGENHARIA FLORESTAL) Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023.

DORES-SILVA, P. R., LANDGRAF, M. D., & REZENDE, M. O. D. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química nova**, v. 36, p. 640-645, 2013.

DUTRA, L.A.; MORENO, A.M.B.; ALBUQUERQUER, L.F.; FERNANDES, F.E.P.; CARVALHO, F.C.; ARAÚJO FILHO, J.A. Teores de magnésio na manta orgânica em um sistema agrossilvipastoril no nordeste brasileiro. **VIII Encontro de Iniciação da Universidade Estadual Vale do Acaraú**, 2007. Anais.p48.

EMBRAPA, S. Manual de métodos de análise de solo 3rd edn. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, 2017.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). **El estado de los bosques del Mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible**. Roma. Licencia: CC BY-NC SA 3.0 IGO. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf>.

FERNANDES, F. A., & FERNANDES, A. H. B. M. (2008). **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Embrapa Pantanal, 2008.

FERNANDES, C. A. F., MATSUMOTO, S. N., FERNANDES, V. S. Carbon stock in the development of different designs of biodiverse agroforestry systems. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 720-725, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. L. C., LIRA JUNIOR, M. D. A., ROCHA, M. S. D., SANTOS, M. V. F. D., LIRA, M. D. A., & BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). **Revista Árvore**, v. 31, p. 7-12, 2007.

FONSÊCA, N. C., MEUNIER, I. M. J., SILVA, A. C. B. L. Can fallen trees enhance aboveground biomass estimation? A proposal for the Brazilian Atlantic Forest. **Revista de Biología Tropical**, v. 68, n. 4, p. 1284-1297, 2020.

FREITAS, S. M. **Criação de um atlas de microbiologia com enfoque na morfologia de colônias em diferentes meios de cultura das principais espécies bacterianas de importância clínica, veterinária e ambiental**. 2022.244f. (Bacharelado em Ciências Biológicas) Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2022.

HÜBNER, R., KÜHNEL, A., Lu, J., DETTMANN, H., WANG, W., & WIESMEIER, M. Soil carbon sequestration by agroforestry systems in China: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 315, p. 107437, 2021.

JUSTINO, S. T. P. **Dinâmica florestal e estoque de carbono em fragmentos de Mata Atlântica**. 2024. 140f. (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2024.

LIMA, F. W. C. **Efeito dos fatores físicos e biológicos sobre a decomposição e liberação de nutrientes da folhagem de espécies arbóreas da caatinga**. 2009. 65f. (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2009.

MACHADO, D. D. P., CORREIA, M. E. F. Os sistemas agroflorestais como alternativa para uma agricultura sustentável no entorno de unidades de conservação. **Cadernos de Geografia**, v. 48, p. 41-55, 2023.

MBOW, C., NEUFELDT, H.; MINANG, P. A.; LUEDELING, E; KOWERO, G. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p.8–14, 2014.

MORENO, A.M.B., DUTRA, L.A.; ALBUQUERQUER, L.F., FERNANDES, F.E.P., CARVALHO, F.C., ARAÚJO FILHO, J.A. **Conteúdo de cálcio na manta orgânica em um sistema agrossilvipastoril no nordeste brasileiro**. VIII Encontro de Iniciação da Universidade Estadual Vale do Acaraú, 2007. Anais.p31.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo (2002). **Editora UFLA, Lavras**.

MUTUO, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C. A.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 71, p. 43-54, 2005.

OLIVEIRA, E.S.; REATTO, A.; ROIG, H.L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015.

ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICAIS; CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANSA. **Sistemas Agroflorestais: principios y aplicaciones en los tropicos**. San José: Trejos Hnos. Sucs, 1986. 818 p.

PASSOS, C., CAMPOS, B. F., ARAÚJO, A. J. C., LUSTOSA, D. C., & VIEIRA, T. A. Sistemas agroflorestais e outros sistemas de uso da terra: prospecção de microrganismos sob solo Amazônico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

PEREIRA, A. E., SILVA JUNIOR, O. L., SCHMIDT FILHO, E., GASPAROTTO, F., PACCOLA, E. A. S. Uma revisão sistemática dos indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade do solo agrícola. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 5, p. e4695-e4695, 2024.

PINA, Iara Jaime de. **Análises química e microbiológica de solo em sistemas agroflorestais**. Universidade Estadual de Maringá, 2016.

PRIMAVESI, A. & PRIMAVESI, A. A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais e culturais: nutrição e produção vegetal. 1 ed. - São Paulo: **Expressão Popular**, 2018.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 264).

RODRIGUES, G. S. de Oliveira; TORRES, S.B.; LINHARES, P. C. F.; DE FREITAS, R. da Silva; MARACUJÁ, P. B. **Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônômico da rúcula (*Eruca sativa* L.)**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 162-168, 2008.

RUIVO, M. L. P; OLIVEIRA, M. L; BATISTA, E. B; KERN, D. M ; SELES, M. E. C. População Microbiana em Solo de Terra Preta Arqueológica: um indicativo da qualidade do solo? **Resumos expandidos do Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Belém, p. 232 – 233, 2002.

SANTOS, Lucas Lázaro Cirineu; VASCONCELOS, Livia Gabrig Turbay Rangel; RAYOL, Breno Pinto. LITTER PRODUCTION IN AGROFORESTRY SYSTEM, CASTANHAL, PARÁ. **Revista Ciência Agrícola**, v. 20, n. 1, p. 1-7, 2022.

SCHIMITZ, J.A.K. **Indicadores biológicos da qualidade do solo**. 2003. 176f. (Doutorado em Ciências do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SIARUDIN, M.; INDRAJAYA, Y.; HANI, A. Preliminary assessment on above ground carbon stock of agroforestry and monoculture crop systems in peatlands. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012010.

SILVEIRA, N. D., PEREIRA, M. G., POLIDORO, J. C., TAVARES, S. R. D. L., & MELLO, R. B. Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ). **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 129-136, 2007.

SIQUEIRA, C. B., RANGEL, D. S., RODRIGUES, D. D., TRUGILHO, G. A., PERON, I. B., SOUZA, M. N. A agrofloresta como forma de recuperação e educação ambiental no município de Castelo, Espírito Santo. In: SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. v. 3. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. p. 299-324. 2022

SILVA, T. T. ; DRUMOND, M. A.; BAKKER, I. A..

Sistema agroflorestal em Nova Olinda, Ceará: Uma experiência de sucesso. **Revista Verde**, Pombal-PB, v 9., n. 3, p. 162-171, jul-set, 2014.

SILVA, D. C. V. D., TIAGO, P. V., MATTOS, J. L. S. D., PAIVA, L. M., & SOUZA-MOTTA, C. M. D. Isolamento e seleção de fungos filamentosos do solo de sistemas agroflorestais do Município de Bom Jardim (PE) com base na capacidade de produção de enzimas hidrolíticas. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, p. 607-610, 2011.

SILVA, R. B., MOURA, Q., RODRIGUES, H., BARRETO, P., NUNES, H., RODRIGUES, R., SANTOS, S., RUIVO, M. L. Estudo das colônias de fungos e bactérias em solos de floresta tropical associada à variação das chuvas na região. 2010.

- SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil.** 2006. 161f. (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba, Areias, 2006.
- SOUZA, N. C. **Estrutura, diversidade e quantificação de carbono da comunidade arbórea de um fragmento de Mata Atlântica.** 2023. 91f. (Mestrado em Biodiversidade e Conservação da Natureza) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023.
- STÖCKER, C. M., MONTEIRO, A. B., BAMBERG, A. L., CARDOSO, J. H., MORSELLI, T. B. G. A., & de Lima, A. C. R. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 848-859, 2017.
- STOCKMANN, U., ADAMS, M. A., CRAWFORD, J. W., FIELD, D. J., HENAKAARCHCHI, N., JENKINS, M., MINASNY, B., MCBRATNEY, A. B., COURCELLES, V. R., SINGH, K., WHEELER, I., ABBOTT, L., ANGERS, D. A., BALDOCK, J., BIRD, M., BROOKES, P. C., CHENU, C., JASTROW, J.D., LAL, R., LEHMANN, J & ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 164, p. 80-99, 2013.
- TORQUEBIAU, E. **Are tropical agroforestry home gardens sustainable?**. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 41, n. 2, p. 189-207, 1992.
- TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., CASE, C. L. **Microbiology: an introduction.** 13. ed. Boston: Pearson, 2019.
- TORSVIK, Vigdis; ØVREÅS, Lise; THINGSTAD, Tron Frede. Prokaryotic diversity--magnitude, dynamics, and controlling factors. **Science**, v. 296, n. 5570, p. 1064-1066, 2002.
- Vasconcellos, R.C.; Beltrão, N.E.S.; Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de Indicadores ambientais. *Interações*, **2018**, 19, 209-220.
- VARGAS, G. R. de; BIANCHIN, J. E; BLUM, H; MARQUES, R. Ciclagem de biomassa e nutrientes em plantios florestais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.2, p.111-123, may-aug., 2018.
- VASCONCELLOS, R.L.F.; BONFIM, J.A.; ANDREOTE, F.D.; MENDES, L.W., BARETTA, D.; CARDOSO, E.J.B.N. Microbiological indicators of soil quality in a riparian forest recovery gradient. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 313– 320, 2013.
- Van Elsas, J. D., CHIURAZZI, M., MALLON, C. A., ELHOTTOVĀ, D., KRIŠTŮFEK, V., & SALLES, J. F. Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 4, p. 1159-1164, 2012.

YASIN, G., NAWAZ, M. F., ZUBAIR, M., AZHAR, M. F., Gilani, M. M., ASHRAF, M. N., QIN, A., RAHMAN, S. U. Role of traditional agroforestry systems in climate change mitigation through carbon sequestration: An investigation from the semi-arid region of Pakistan. **Land**, v. 12, n. 2, p. 513, 2023.

YOUNG, A. Agroforestry for soil conservation. 4.ed. Wallingford, CAB International, 1994.