

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO **MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

ITALO RAFAEL DE FREITAS

INTERAÇÃO SOLO - PLANTA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL CONSOLIDADO NO EXTREMO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

ITALO RAFAEL DE FREITAS

INTERAÇÃO SOLO – PLANTA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL CONSOLIDADO NO EXTREMO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a sua conclusão.

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Alves

631.81 F866i Freitas, Italo Rafael de.

Interação Solo – Planta em um Sistema Agroflorestal consolidado no extremo Oeste do Estado de São Paulo / Italo Rafael de Freitas. – Presidente Prudente, 2023. 122 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2023. Bibliografia.

Orientador: Dr. Marcelo Rodrigo Alves

1. Carbono Orgânico. 2. Matéria Orgânica. 3. Recuperação. 4. Solo. I. Título.

Catalogação na Fonte: Maria Letícia Silva Vila Real – CRB 8/10699

ITALO RAFAEL DE FREITAS

INTERAÇÃO SOLO – PLANTA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL CONSOLIDADO NO EXTREMO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a sua conclusão.

Presidente Prudente, 28 de Novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Marcelo Rodrigo Alves Universidade do Oeste Paulista – Unoeste Presidente Prudente - SP

Prof. Dr. Ademir Fontana Instituição: Embrapa Solos

Local: Rio de Janeiro - RJ

Prof. Dr. Carlos Henrique Dos Santos

Instituição: Universidade do Oeste Paulista – Unoeste

Local: Presidente Prudente - SP

DEDICATÓRIA

À minha mãe Sandra, que me dá todo o suporte e amor do mundo todos os dias. À minha namorada Amanda, que, esteve ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Marcelo por ter me aceito como orientado nesse trabalho, pelo apoio e companheirismo, pelas aulas, pelo conhecimento passado e a amizade desenvolvida nesses anos.

Ao meu professor e amigo da graduação Hilton Fabrício, pelo convívio e conselhos.

Aos membros do CEVOP (Centro de Estudo em Ecofisiologia Vegetal) que compartilharam comigo sua rotina de estudos e trabalhos acadêmicos, Daniele, Hélida, Bruna, Bruno, Mateus, professora Ana Cláudia e a professora/coordenadora Adriana, que sempre nos ajuda e nos incentiva a sermos melhores.

Às técnicas do Bloco O que me ensinaram e me acompanharam nas apólicas do

Às técnicas do Bloco Q que me ensinaram e me acompanharam nas análises do projeto das quais passamos muitos meses juntos, Élida, Lidyane, Luciana e a Luma. À Deus por tudo.



RESUMO

Interação Solo – Planta em um Sistema Agroflorestal consolidado no extremo Oeste do Estado de São Paulo

Uma alternativa de sistema de cultivo em solos arenosos visando custos mais acessíveis aos pequenos produtores é o Sistema Agroflorestal (SAF), possibilitando diversificação de produtos e diluição dos custos, além da cultura central, que nesse sistema de estudo foi o Café (Coffea arabica). Além dos aspectos socioeconômicos à agricultura familiar, a proposta de um SAF se abrange aos serviços ambientais prestados, como a recuperação de áreas degradadas, redução de erosões, retenção de carbono orgânico no solo, aumento da biodiversidade. Assim, o presente projeto teve como objetivo caracterizar e conhecer os benefícios edáficos e serviços ambientais proporcionados pelo SAF frente a outros arranjos ou sistemas de cultivo, sendo eles a pastagem tradicional e mata preservada (Mata Atlântica), e a relação entre as espécies arbóreas do SAF com as propriedades do solo. Foram coletadas 10 amostras por área nas profundidades (0-10 e 10-20 cm), para análises físicas, químicas e microbiológicas, carbono orgânico total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Estoque de Carbono Orgânico (Est C). Também foram coletadas 80 amostras georreferenciadas no SAF para os mesmos procedimentos laboratoriais e coletadas as coordenadas das espécies arbóreas. Foram estudados os padrões existentes nas áreas por meio da análise de correlação de Pearson, considerando apenas os valores de correlação com significância estatística de p<0,05. Para os dados georreferenciados foi realizada a análise não paramétrica de Krustal-Wallis e Cluster K-means. Na comparação das áreas, a Densidade do Solo (Ds) teve uma correlação negativa forte de 0,63 com o COT, aferindo que, mesmo o SAF tendo sua Ds similar à Pastagem, conseguiu ter sua quantidade de COT similar à Mata Preservada, devido principalmente ao aporte de serrapilheira e ao sistema radicular das espécies arbóreas constituintes do sistema. Há correlação positiva forte de 0,66 entre a Matéria Orgânica do solo e o COP, demonstrando sua função como indicador da qualidade do solo. A Pastagem obteve resultados que demonstram ser a área mais degradada com menos biodiversidade microbiológica. O SAF obteve maiores valores de Soma de Bases na camada superior (0-10 cm) e se equiparou a Mata nos valores de COT e COP. Dentre as espécies arbóreas do SAF, a família Fabaceae foi

observada em todos os três clusters gerados pelo K-means, indicando que, enquanto algumas características do solo podem ser influenciadas pela família botânica, outras propriedades são mais intrínsecas às espécies individuais.

Palavras-chave: Carbono Orgânico; Matéria Orgânica; Recuperação; Solo.

ABSTRACT

Soil-Plant Interaction in an Agroforestry System established in the far West of the State of São Paulo

An alternative cultivation system for sandy soils aimed at providing more affordable costs for small-scale farmers is the Agroforestry System (AFS), allowing for product diversification and cost dilution. In this study, the central crop was Coffee (Coffea arabica). Beyond the socio-economic aspects for family farming, the AFS proposal extends to the environmental services provided, such as the restoration of degraded areas, erosion reduction, organic carbon retention in the soil, and increased biodiversity. Thus, this project aimed to characterize and understand the edaphic benefits and environmental services provided by AFS compared to other arrangements or cultivation systems, including traditional pasture and preserved forest (Atlantic Forest). Additionally, the relationship between AFS tree species and soil properties was explored. Ten samples per area were collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm for physical, chemical, and microbiological analyses, total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), and organic carbon stock (Org C). Eighty georeferenced samples were collected in the AFS for the same laboratory procedures, along with coordinates for tree species. Existing patterns in the areas were studied through Pearson correlation analysis, considering only correlation values with statistical significance at p<0.05. Georeferenced data were analyzed using nonparametric Kruskal-Wallis and K-means cluster analysis. In comparing areas, Soil Density (Ds) showed a strong negative correlation of 0.63 with TOC, indicating that, although AFS had a Ds similar to pasture, it achieved TOC levels similar to the preserved forest, mainly due to litter input and the root system of tree species in the system. There was a strong positive correlation of 0.66 between soil organic matter and POC, demonstrating its role as an indicator of soil quality. Pasture results indicated it as the most degraded area with lower microbiological biodiversity. AFS had higher Base Sum values in the upper layer (0-10 cm) and matched the forest in TOC and POC values. Among AFS tree species, the Fabaceae family was observed in all three clusters generated by K-means, suggesting that while some soil characteristics may be influenced by the botanical family, other properties are more intrinsic to individual species.

Keywords: Organic Carbon; Organic Matter; Restoration; Soil.

LISTA DE SIGLAS

ACP – Análise de Componentes Principais

BMS – Biomassa Microbiana do solo

C-CO₂ – Respiração do solo

CBM – Carbono da biomassa microbiana

COM – Carbono Orgânico Mineral

COP – Carbono Orgânico Particulado

COS – Carbono Orgânico no Solo

COT – Carbono Orgânico Total

DHA – Atividade da Enzima Desidrogenase

Dp – Densidade de Partículas

Ds – Densidade do Solo

Est. C – Estoque de Carbono Orgânico Total

FDA – Diacetado de Fluoresceína

IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas

MOS – Matéria Orgânica no Solo

N – Nitrogênio

NBM – Nitrogênio da biomassa microbiana

Pt – Porosidade Total

*qCO*₂ – Quociente Metabólico

SAF – Sistema Agroflorestal

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Desenho dos sistemas agroflorestais do Projeto Café com Floresta	.21
Figura 2 –	Mapa de localização das áreas de estudo	.31
Figura 3 –	Classificação pedológica das áreas de estudo.	.32
Figura 4 –	Fluxograma com as etapas do projeto	.32
Figura 5 –	Áreas de estudo	.33
Figura 6 –	Coleta de solo indeformada.	.34
Figura 7 –	Amostras (0-10cm) das áreas para análises químicas	.36
Figura 8 –	Fracionamento do C: do COP das áreas	.37
Figura 9 –	Análise de COT e COP	.37
Figura 10 –	Procedimento para análise de Respiração do solo	.38
Figura 11 –	Amostras separadas em irradiadas e não irradiadas para agitação	.41
Figura 12 –	Amostras utilizadas na determinação de CBM	.41
Figura 13 –	Amostras para NBM após banho-maria	.42
Figura 14 –	Análise da atividade da enzima desidrogenase das áreas	.43
Figura 15 –	Amostras prontas para leitura para análise hidrolítica do FDA	.44
Figura 16 –	Coleta de solo no SAF na profundidade 0 – 10 cm	.52
Figura 17 –	Matriz de Correlação de Pearson	.55
Figura 18 –	Análise dos Componentes Principais	.56
Figura 19 –	Gráficos das cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (ACP)	
Figura 20 –	Mapa de localização da área em estudo	.63
Figura 21 –	Determinação da circunferência altura do peito (CAP) no SAF	.64
Figura 22 –	Coleta de material para posterior identificação	.64
Figura 23 –	Coleta de solo e serrapilheira	.66
Figura 24 –	Coleta de amostras indeformadas com anel volumétrico 100 cm ³	.67
Figura 25 –	Preparação da serrapilheira	.68

Figura 2	6 –	Secagem da serrapilheira	68
Figura 2	7 –	Moagem da serrapilheira	69
Figura 2	8 –	Análise de Nitrogênio da serrapilheira	69
Figura 2	9 –	Análise granulométrica do solo	70
Figura 3	0 –	Equipamentos para fracionamento da fração areia	.71
Figura 3	1 –	Exemplo da fração areia muito fina nas peneiras após fracionamento	71
Figura 3	2 –	Análise de densidade de partículas	.72
Figura 3	3 –	Fracionamento do Carbono Orgânico Particulado (COP)	.73
Figura 3	4 –	Análise de Carbono Total	.73
Figura 3	5 –	Amostras incubadas para análise de Respiração do solo	74
Figura 3	6 –	Realização da análise de Respiração do solo	75
Figura 3	7 –	Filtragem da solução do solo	.77
Figura 3	8 –	Análise de Carbono da Biomassa Microbiana	.77
Figura 3	9 –	Análise de Nitrogênio da Biomassa Microbiana	.78
Figura 4	0 –	Análise da atividade da enzima desidrogenase	.79
Figura 4	1 –	Filtragem da solução para análise hidrolítica do FDA	.79
Figura 4	2 –	COT (10 – 20 cm) x Espécie	90
Figura 4	3 –	Est_C (10 – 20 cm) x Espécie	90
Figura 4	4 –	Mg - Serrapilheira (g Kg ⁻¹) x Espécie	91
Figura 4	5 –	COT (10 – 20 cm) x Família Botânica	92
Figura 4	6 –	Est_C (10 – 20 cm) x Família Botânica	92
Figura 4	7 –	Mg - Serrapilheira (g Kg ⁻¹) x Família Botânica	93
Figura 4	8 –	COT (0 – 10 cm) x CAP (cm)	94
Figura 4	9 –	COT (10 – 20 cm) x CAP (cm)	94
Figura 5	0 –	Est_C (0 – 10 cm) x CAP (cm)	95
Figura 5	1 –	Tendência das medianas das variáveis em relação às categorias de CAP	.95

Figura 52 –	Ranking das espécies com base nas medianas das variáveis			
	significativas para Espécies (Nome Popular)9	6		
•	Ranking das famílias botânicas com base nas medianas das variáveis significativas para Famílias Botânicas9	7		
•	Ranking das categorias da circunferência à altura do peito (CAP) com base nas medianas das variáveis significativas para as Categorias de			
	CAP (cm)9	7		

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultado das análises granulométricas nas profundidades 0 – 10 cm 10 – 20 cm nas áreas de estudo	
Tabela 2 –	Análises químicas na profundidade 0 – 10cm entre as áreas de estudo Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável4	
Tabela 3 –	Análises químicas na profundidade 10 – 20cm entre as áreas de estudo Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável4	
Tabela 4 –	Carbono Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COAM) nas áreas de estudo en profundidades 0 – 10 cm e 10 – 20 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável, letras maiúsculas diferenciam a variável no profundidade da mesma área	m m la
Tabela 5 –	Estoques de Carbono nas áreas de estudo nas profundidades 0 – 10 cr e 10 – 20 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variávo dentro da mesma profundidade	el
Tabela 6 –	Resultados de Densidade do Solo (Ds), Densidade de Partículas (Dp) Porosidade Total (Pt), nas áreas e nas profundidades 0 – 10 e 10 – 2 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável dentr da mesma profundidade	0. O
Tabela 7 –	Análises dos parâmetros microbiológicos nas áreas, em profundidade – 10 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável 4	
Tabela 8 –	Quantidade de espécies e indivíduos por Família no SAF8	4
Tabela 9 –	Teores determinados da serrapilheira8	5
Tabela 10 –	Resultados parâmetros químicos de fertilidade do solo8	6
Tabela 11 –	Resultados parâmetros das frações de carbono no solo8	6
Tabela 12 –	Resultados parâmetros físicos do solo8	7
Tabela 13 –	Resultados do fracionamento físico da fração areia do solo8	7
Tabela 14 -	Resultados microbiológicos do solo 8	8

Tabela 15 –	Teste de Kruskal-Wallis para as variáveis da serrapilheira em relação ao
	nome popular, família botânica e circunferência à altura do peito (CAP)
	88
Tabela 16 –	Resumo dos Clusters de Espécies com Base em Variáveis Significativas
	99

SUMÁRIO

1	EMBASAMENTO TEORICO	20
1.1	Sistema Agroflorestal	20
1.2	Serrapilheira	21
1.3	Carbono orgânico no solo	22
1.4	Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo	. 24
2	CAPÍTULO 1 - INTERAÇÕES EDÁFICAS EM DIFERENTES USOS DO SOLO EM MIRANTE DO PARANAPANEMA/SP	27
2.1	INTRODUÇÃO	27
3	OBJETIVO GERAL	30
3.1	Objetivos Específicos	30
4	MATERIAL E MÉTODOS	31
1º Fas	e	33
4.1	Coleta em campo	33
2º Fas	e	34
4.2	Análises dos atributos físicos do solo	34
4.3	Análises do solo para caracterização química	35
4.4	Análises microbiológicas do solo	38
4.5	Análise de respiração do solo	38
4.6	Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana	39
4.7	Quociente metabólico (qCO ₂)	42
4.8	Atividade da enzima desidrogenase	42
4.9	Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA	43
3º Fas	e	44
5	ANÁLISE GERAL DOS DADOS	44
6	RESULTADOS	46
7	DISCUSSÃO	50

8	CONCLUSÃO	59
9	CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO ARBÓREA NA DINÂMI DA SERRAPILHEIRAEM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM MIRAN DO PARANAPANEMA / SP	TE
9.1	INTRODUÇÃO	
9.2	OBJETIVO GERAL	
9.2.1	Objetivos específicos	
10	MATERIAL E MÉTODOS	
10.1	Caracterização da região e da área de estudo	
10.2	Levantamento Arbóreo	
10.3	Definição da localização e coleta das amostras	
10.4	Análises quantitativa e qualitativa da Serrapilheira	
10.5	Análises dos parâmetros físicos do solo	
10.6	Análises do solo para caracterização química	
10.7	Análises microbiológicas do solo	
10.7.1	Análise de respiração do solo	
10.7.2	Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana	
	Quociente metabólico (qCO ₂)	
10.7.4	Atividade da enzima desidrogenase	78
10.7.5	Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA	79
11	ANÁLISE GERAL DOS DADOS	80
11.1	Associação dos Pontos de Coleta à Árvore Mais Próxima e teste de Kruskal-Wallis	80
11.2	Ranking das Variáveis Significativas	81
11.3	Análise de Cluster K-means	
12	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
13	CONCLUSÃO	102
14	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103

REFERÊNCIAS	105
ANEXO A- Inventário Arbóreo	118

1 EMBASAMENTO TEÓRICO

1.1 Sistema Agroflorestal

O principal objetivo na implantação de um Sistema Agroflorestal (SAF) é criar um mosaico entre paisagens, conectando-as e proporcionando dinamicidade na produção agrícola, essa metodologia tem potencial para orientar a transição de produção convencional para um modelo de produção mais ambientalmente adequado e economicamente viável (Lima, 2003).

A implantação de um SAF consiste em trabalhar com sucessões ecológicas de cobertura vegetal, ao menos no seu início, isso se deve ao fato de ser necessário adubar o solo antes da implantação do sistema e gradativamente ativar toda a funcionalidade dos microrganismos, quebrando a esterilidade do solo.

Assim como no estabelecimento de uma floresta, primeiro se estabelecem as gramíneas e arbustos, que são as chamadas culturas de coberturas e pode ser utilizadas desde gramíneas à leguminosas e arbustivas, como algumas espécies de Fedegoso (*Senna* spp.) por exemplo, essas espécies podem ser consorciadas ou plantadas juntamente com cultivos perenes, assim como relata Altieri, Nicholls e Montalba (2014), seu objetivo é aumentar a fertilidade do solo e promover o controle biológico, pode-se citar também o acúmulo da matéria orgânica do solo, a ciclagem de nutrientes, redução de erosão do solo, com maior retenção de água e nos casos de implantação de leguminosas há o benefício da fixação biológica de nitrogênio.

Em se tratando de biodiversidade reestabelecida em SAFs, sua estrutura complexa e interações entre o próprio solo, plantas e animais desencadeiam vários efeitos benéficos, relacionados principalmente com os ciclos microbiológicos, dentre alguns deles é a cobertura vegetal contínua para a proteção do solo, o fechamento dos ciclos de nutrientes garantindo o uso eficaz dos recursos locais, a contribuição para a conservação do solo e dos recursos hídricos através da cobertura morta (Freitas; Silva; Azevedo, 2015).

Os SAFs possuem diferentes nomenclaturas dependendo de sua estrutura e finalidade, que varia de acordo com a região (Lopes, 2014). Em especial ao Assentamento São Bento, o SAF abordado faz uso da cultura de café, com fileiras paralelas com distância de quatro metros e variabilidade vegetal de árvores frutíferas e nativas, como ilustra a figura 4, elaborada para o Projeto Café com Floresta implementado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (Ipê) na região.

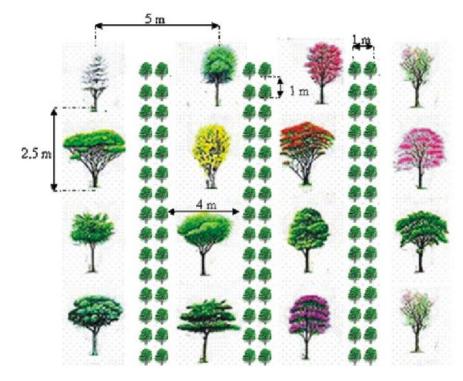


Figura 1 – Desenho dos sistemas agroflorestais do Projeto Café com Floresta.

Fonte: Lima (2003).

O cultivo de café em sistemas agroflorestais possui alguns benefícios para o solo, principalmente atrelados a serrapilheira contribuindo para o acúmulo de matéria orgânica no solo, manutenção e melhoria da qualidade do solo e, para o café, os processos ecológicos de um SAF contribuem para uma maturação mais lenta proporcionando melhor qualidade para o fruto e redução de infestação de ervas daninhas (Matiello *et al.*, 2005).

1.2 Serrapilheira

Comumente reconhecida como uma camada orgânica que recobre a superfície do solo, geralmente constituída por materiais de origem vegetal como folhas, flores, frutos, sementes, galhos e caules, além de materiais de origem animal (Souza et al., 2017). É uma das principais fontes de nutrientes das plantas ao solo, atuando na (re)ciclagem dos elementos químicos, como alimento para organismos e cobertura permanente do solo.

Por ter várias origens, sua composição depende de fatores como a composição das espécies vegetais, o uso do solo, o clima da região e consequentemente, a população de invertebrados e microrganismos e sua atividade

como organismos decompositores. A diversidade da flora é de extrema importância para a distribuição nutricional da serrapilheira ao solo, pois quanto mais diversa é a flora, mais heterogênea será a serrapilheira (Manhaes; Francelino, 2012).

Os minerais disponibilizados para as plantas absorverem advém da permanência da serrapilheira sobre o solo, do processo de decomposição através dos microrganismos e é dependente da qualidade do material orgânico, do clima e pela população desses microrganismos, no entanto, a qualidade da serrapilheira é caracterizada pelas substâncias encontradas nos elementos das plantas, a esse processo dá-se o nome ciclagem de nutrientes (Caldeira *et al.*, 2011).

Além dos elementos minerais que são disponibilizados e integrados ao sistema solo – planta através da serrapilheira, outra fonte fundamental que ela subsidia ao solo é a matéria orgânica no solo (MOS), que possui papel importante nas propriedades físicas, químicas e biológicas, dentre suas diversas funções no solo, podemos destacar o amento da aeração, CTC, disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana, sendo também a responsável atuando como fonte de carbono orgânico no solo (COS). A quantidade de COS no solo é proporcionalmente ligada a quantidade de material orgânico depositado (Ferreira *et al.*, 2019; Minasny *et al.*, 2017).

1.3 Carbono orgânico no solo

Em ecossistemas naturais, os solos encontrados demonstram teores de COS estabilizados em cada condição ambiental como topografia e vegetação (Ferreira et al., 2020). Entretanto, esse estado pode ser modificado em solos cujo uso seja para fins agrícolas (Braida; Reichert, 2014). Um solo comprometido com suas quantidades ideais de carbono, por perda do COS através da redução dos teores de matéria orgânica, por exemplo, gera uma diminuição também em sua qualidade, que interfere em seu poder de agregação (Souza et al., 2016), e em sua porosidade (Rossetti; Centurion, 2015), podendo também interferir na diversidade microbiana (Coser et al., 2016).

O equilíbrio do COS no conjunto atmosfera-solo é dependente do manejo do solo e tipo de cultivo, por tanto, em sistemas agrícolas a entrada de COS é diretamente influenciada pelo preparo do solo, o tipo de cultura, arranjo ou sistema de cultivo e manejo dos resíduos das culturas, além disso o acúmulo do COS no solo está

diretamente interligado com as condições climáticas da região, assim como as características físicas de solo (Ferreira *et al.*, 2020; Assad *et al.*, 2013).

O COS é um indicador de qualidade do solo indispensável para um sistema agrícola (Bailey *et al.*, 2018). Seu teor, que também pode ser expresso em termos de matéria orgânica do solo (MOS), é usado por sistemas de recomendação para avaliar a fertilidade do solo (Rosin *et al.*, 2020).

Nesse aspecto, a capacidade de um solo de reter COS depende do manejo adotado, o clima e a composição física do solo. Destaca-se essa importância ao solo da região do Pontal do Paranapanema que possui baixa fertilidade e grande quantidade de areia. Alguns consórcios são propostos para o estabelecimento de nutrientes no solo, por exemplo, estudos realizados com forrageiras e algumas leguminosas se demonstraram promissores, como conferem Horvathy Neto *et al.* (2012) em que o consórcio com forrageiras como *Urochloa ruziziensis* permitiu aumento da produção de biomassa, além de apresentar grande suprimento de raízes, que consequentemente contribuiu para a infiltração de água aumentando os níveis de matéria orgânica nas camadas superficiais de solo (Loss *et al.*, 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) é a principal fonte de COS no solo através da formação de raízes das espécies vegetais e a serrapilheira depositada. Estudos abordando a quantificação dos diferentes teores de carbono no solo vem sendo abordados como ferramentas fundamentais na compreensão da dinâmica do COS em áreas convertidas para a atividade agropecuária (Santos *et al.*, 2017).

Uma técnica já consolidada em estudos que estão relacionados aos sistemas de produção é o fracionamento granulométrico da MOS, ou também chamado de fracionamento físico da MOS, que pode fornecer resultados referentes a qualidade do solo frente ao manejo antrópico (Assunção, 2016).

Segundo Cambardella e Elliot (1992), o carbono é granulometricamente dividido em partes que estão associadas de acordo com o grau de relação com a matriz do solo, sendo chamadas de Carbono Orgânico Particulado (COP) e Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COAM). O COP a fração da MOS que possui a granulometria ""≤2 mm e >53 μm", é geralmente livre ou levemente associado às partículas do solo que são relacionadas com a fração areia (Conceição *et al.*, 2005; Assunção, 2016). O COAM possui granulometria "< 53μm" e está associado fortemente com as partículas do solo que estão relacionadas às frações minerais silte e argila (Cambardella; Elliott, 1992).

Além de estrutura granulométrica distinta, essas frações da MOS também possuem funções distintas no solo, o COP possui como principal função servir de fonte de energia e nutrientes para os organismos, que estimula a elevação das cargas e transformações bioquímicas dos elementos do solo e formação de agregados (Silva; Mendonça, 2007; Six et al., 2002). É conhecida também como fração lábil da MOS, por ser mais suscetível aos diferentes usos do solo, sendo diretamente influenciada por resíduos superficiais e restos de raízes, estando ligada ao preparo do solo (Duxbury; Smith; Doran, 1989). Já o COAM é conhecido como a fração mais estável da MOS, sendo menos sensível à alterações de manejo do solo, participa da formação dos complexos organominerais protegidos pela fração coloidal (Bayer, 2004).

Estudos envolvendo o fracionamento físico da MOS podem fornecer informações sobre a qualidade edáfica, detectando impactos ambientais frente às ações antrópicas, sendo importantes para elaboração de estratégias que visem a preservação do solo e a sustentabilidade ambiental (Loss *et al.*, 2011).

1.4 Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo.

Mudanças na estrutura e composição do solo podem afetar a atividade dos microrganismos que, são considerados componentes críticos nos ecossistemas naturais e também nos sistemas edáficos, uma vez que esses seres atuam na manutenção de regulação da matéria orgânica do solo e seus ciclos biogeoquímicos, com efeitos diretos na fertilidade do solo, na nutrição das plantas e toda a cadeia alimentar que delas se originam (Garcia *et al.*, 2020). Os microrganismos são em sua essência, a fração viva da biomassa microbiana (Araújo; Melo, 2012).

A ciclagem de nutrientes é uma resposta rápida às variações de umidade e temperatura, ao manejo de resíduos e ao cultivo (Li *et al.*, 2018). Assim como o COS está ligado a presença de matéria orgânica no solo, o carbono da biomassa microbiana é também influenciado por esse conjunto, uma vez que o conteúdo da biomassa microbiana é relacionado com os recursos disponíveis no solo advindos da matéria orgânica (Liu *et al.*, 2008).

A biomassa microbiana do solo desenvolve uma atividade necessária na nutrição e fertilidade das plantas, devido à sua capacidade de imobilizar significativas quantidades de nutrientes, nos chamados macro agregados, que formam para ele um hábitat de proteção e de propriedades físico e químico ideais, o que leva à proteção contra a perda de nutrientes por lixiviação e oxidação (Garcia *et al.*, 2020).

Mudanças na estrutura do solo, principalmente por compactação podem afetar a formação de macro agregados e com isso todas a qualidades que eles proporcionam. Outro aspecto de relevância são as células microbianas que liberam nutrientes cinco vezes mais rápido que os nutrientes obtidos por decomposição de resíduos vegetais (Paul; Clark, 1996).

Ao desempenharem seu papel nos ciclos biogeoquímicos do solo, os microorganismos usam de ferramentas biológicas, dentro dessas ferramentas estão as enzimas. Duas classes de enzimas são estudadas de forma recorrente em pesquisas com o solo, sendo a Enzima Desidrogenase e o método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA.

A Enzima Desidrogenase, é uma enzima intracelular, ou seja, é encontrada dentro dos micro-organismos. Quando se fala no sistema externo (o solo propriamente dito), estudos confirmam que embora o oxigênio possa ser utilizado pelas desidrogenases, a maior produção dessa enzima é feita em condições anaeróbicas. Por suas características de enzimas oxirredutases, as desidrogenases são de muita importância quando se avalia a qualidade do solo, principalmente pela sua característica intracelular, elas não se acumulam extracelularmente no solo. Elas desempenham também o importante papel na oxidação biológica da MOS, em outras palavras, fazendo a transferência do hidrogênio de substratos orgânicos para aceitadores inorgânicos (Gu; Wang; Kong, 2009; Salazar *et al.*, 2011; Yuan; Yue, 2012; Moeskops *et al.*, 2010).

A atividade hidrolítica do FDA é medida através da microscopia de fluorescência ou também pode ser quantificada por espectrofotometria (Chen; Hoitink; Madden, 1988). O FDA é hidrolisado por grupos de enzimas, como as lipases, proteases e esterases das células (Inbar; Boehm; Hoitink, 1991), ele é um composto incolor, que libera a fluoresceína (que é visível e possui coloração) ao ser hidrolisado (Green; Stott; Diack, 2006). A interpretação da quantidade de fluoresceína liberada é relacionada com a atividade da população microbiana no solo, sendo assim, utilizada como bioindicador ambiental (Trannin; Siqueira; Moreira, 2007; Silva *et al.*, 2014).

Apesar a hidrólise do FDA possa ser relacionada às bactérias e fungos, ela não é exclusiva desses micro-organismos, por ser usada como um indicador geral da atividade hidrolítica do solo pelas enzimas proteases, lipases e esterase que, também estão presentes em outros organismos que participam desse sistema como as algas e protozoários (Taylor *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2004). Logo, a ação da hidrólise pode

ser considera como como a atividade microbiana total do solo, contudo, as enzimas envolvidas nesta ação apresentam atividade externa à célula, elas podem ser encontradas em complexos coloidais do solo e terem valores alterados de acordo com a complexidade do material decomposto e consequentemente, complexidade da comunidade microbiológica (Grayston *et al.*, 2001).

2 CAPÍTULO 1 - INTERAÇÕES EDÁFICAS EM DIFERENTES USOS DO SOLO EM MIRANTE DO PARANAPANEMA/SP

2.1 INTRODUÇÃO

Os solos localizados no pontal do Paranapanema (região Oeste do Estado de São Paulo) são predominantemente arenosos, de baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica. Para a viabilização de plantio nesses solos é necessário alto investimento de insumos externos (corretivos e adubos) tanto para implantação como para a manutenção de sistemas de cultivo, principalmente quando manejados de forma convencional (Pimentel, 2004).

Associado ao solo com baixa fertilidade natural, têm-se que a maior parte das áreas rurais estão distribuídas em pequenas propriedades, pertencentes a proprietários de baixa renda, que por consequência não conseguem investir capital suficiente para o manejo dos solos, acarretando em uma produção de alimentos insuficiente para atender suas necessidades básicas e consequentemente na manutenção adequada da área, acarretando em milhares de hectares de pastagens degradadas, exauridas quimicamente e passivas de eventos erosivos (Arana; Lima, 2017).

Neste contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAF's) surgem como uma alternativa de sistema de cultivo adequado para a região. A adoção desta prática já vem sendo adotada por alguns produtores da região como alternativa para reduzir os custos de manutenção com o solo e gastos com produtos químicos. Com isso os produtores passam a ter diversificação de produtos, melhoram a renda familiar e proporcionam melhorias para o solo e para o meio ambiente através dos serviços ambientais (Arana; Lima, 2017).

Os SAF's apresentam como fundamento o cultivo misto de culturas agrícolas consorciadas com espécies florestais, podendo ser espécies nativas, frutíferas ou até mesmo exóticas. Esse sistema aborda tanto aspectos de produção e de qualidade, tanto do solo como o ambiente, envolvendo as interações ecológicas relacionadas da região em que esse sistema é implementado (Melloni *et al.*, 2018). Existem diversas maneiras de implantar um SAF, contudo, devem-se ressaltar os aspectos sociodemográficos, climáticos, econômicos, cultural e ambiental, uma vez que a proposta de um SAF em sua essência é recriar um ambiente natural (Vasconcellos; Beltrão, 2018). O monitoramento também é importante para que o desenvolvimento

do sistema seja efetivo, tanto para propósito de produção de madeira ou produção agrícola, levando em consideração as interações que o sistema pode intermediar através de seus serviços ecológicos (Schembergue *et al.*, 2017).

As espécies arbóreas em um SAF bem estabelecido podem agir como interceptadoras de águas pluviais aumentando sua infiltração no solo, além de mitigar a evaporação permitindo ao cultivar um sistema ecológico balanceado. O solo passa por alterações físicas, químicas e biológicas positivas ao se adotar um sistema misto de plantio. A quantidade de matéria orgânica, assim como raízes afetam substancialmente aspectos atributos físicos do solo sob sua agregação que, por sua vez desencadeia melhorias na aeração, retenção água, umidade e disponibilidade de nutrientes (Bayer; Mielniczuk, 2008; Calderon-Medina; Bautista-Mantilla; Rojas-González, 2018).

Dentre os fatores ambientais atrelados à implementação de espécies arbóreas em sistemas de cultivo misto, a riqueza nutricional distribuída pela serrapilheira se destaca para o bom funcionamento do ciclo de nutrientes no solo. Um SAF proporciona a entrada de Nitrogênio (N) através de sua serrapilheira, desempenhando papel de fonte para os microrganismos do solo, fazendo de seu uso não apenas para sistemas de plantio, mas também para projetos que visam a restauração florestal (Martins *et al.*, 2019). A serrapilheira também pode servir como potencial indicador de monitoramento para a estruturação das funcionalidades ecológicas de um SAF, sua biomassa e as técnicas de manejo adotadas contribuem para uma restauração nutricional e ecológica no longo prazo (Souza *et al.*, 2016).

Além de reduzir fatores de erosão e aumentar a quantidade de matéria orgânica no solo, a estrutura de um SAF pode influenciar positivamente como medidas de adaptação às mudanças climáticas, influenciando a temperatura em seu interior e agindo como barreira protetora contra fortes ventos (Schembergue *et al.*, 2017).

Em um SAF, o manejo do solo está diretamente ligado à distribuição do carbono e de outros nutrientes, o uso do solo capacita a distribuição e ciclo desses nutrientes no sistema, influenciado pelo conjunto dos fatores ao manejo das culturas, adubação e distribuição hídrica. Em uma região com estações pluviais esparsas e solo arenoso pouco fértil, o sistema de plantio convencional torna-se caro para ser mantido, pois depende de adubação química frequente.

Sistemas Agroflorestais podem oferecer um manejo do solo não somente visando a produtividade, mas também na manutenção ecológica e contribuindo para

sua recuperação assim como, programas que visam o reflorestamento podem enxergar o manejo de um SAF como potencial sistema de implantação florestal (Silva; Fernandes; Valenciano, 2006).

Entretanto, ainda que seja conhecido que determinados sistemas de cultivo proporcionam vantagens como o caso do SAF, é preciso estudá-lo de forma particular em cada ambiente ou região onde está inserido. Tendo esse consentimento, parece claro que estudos em SAF's já estabelecidos no Pontal do Paranapanema devem ser realizados com intuito de identificar suas principais características, conhecer suas limitações e potencialidades, assim como as vantagens e desvantagens proporcionadas e assim poder aprimorar técnicas e auxiliar na orientação de novos projetos.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal é caracterizar os benefícios edáficos e serviços ambientais proporcionado pelo tipo de SAF frente a outros usos do solo da região, sendo eles a pastagem tradicional e mata preservada.

3.1 Objetivos Específicos

Caracterizar os solos das áreas de estudo pelos atributos físicos, químicos e microbiológicos;

Obter os parâmetros do SAF quem influenciam e contribuiem com a melhoria da qualidade do solo;

Determinar os indicadores químicos, físicos e biológicos mais sensíveis aos diferentes usos do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo estão localizadas no município de Mirante do Paranapanema no Estado de São Paulo / Brasil (Figura 2), consistindo em um SAF de 1,4 ha instalado nos anos 2000 pelo projeto "Café com Floresta" vinculado ao Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), uma área de pastagem com cobertura do solo predominantemente ocupada por gramíneas sem prática de manejo há pelo menos 20 anos, sendo usada apenas para a produção de gado leiteiro e uma terceira área de mata que possui sua fitofisionomia como Floresta Estacinal Semidecidual pertencente à Mata Atlântica (área de preservação) como referência.

De acordo com a classificação de solos do Estado de São Paulo realizada pelo Instituto Florestal em 2017, as áreas possuem solos distintos, sendo a região em que o SAF foi instalado classificada com solo do tipo Argissolo vermelho-amarelo, a área de pastagem como Gleissolo háplico eutrófico/distrófico e a área de mata preservada como Latossolo vermelho-amarelo distrófico, como mostrado na **Figura 3**, com dados extraídos do mapeamento pedológico classificado pelo Instituto Florestal.

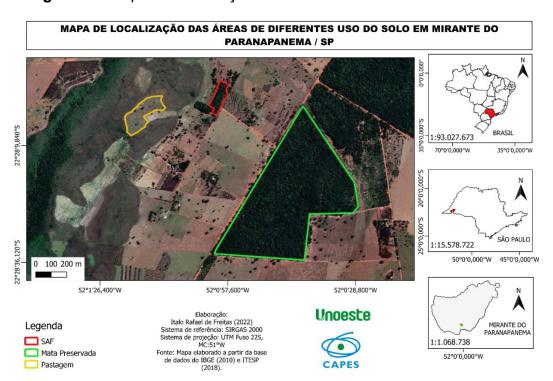


Figura 2 – Mapa de localização das áreas de estudo.

Fonte: O autor (2022).

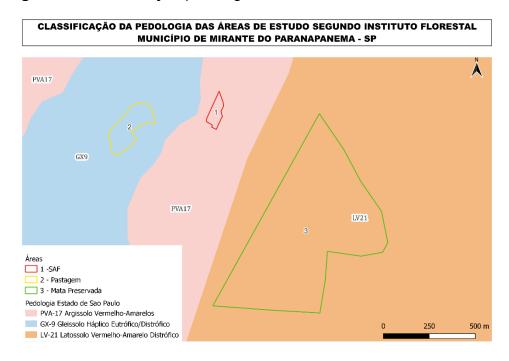


Figura 3 – Classificação pedológica das áreas de estudo.

Fonte: O autor.

O trabalho foi dividido em fases que estão exemplificadas no fluxograma (Figura 4), com a divisão em trabalhos de campo, trabalhos laboratoriais e posteriormente, análise de dados.

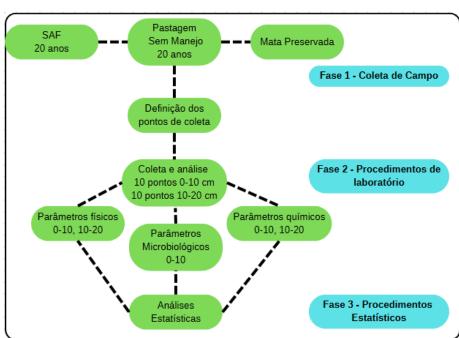


Figura 4 – Fluxograma com as etapas do projeto.

Fonte: O autor.

1º Fase

4.1 Coleta em campo

A grade amostral para as amostras deformadas compostas foi de 10 pontos por área, em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), de forma aleatória para eliminar qualquer possibilidade de correlação envolvendo equidistância das amostras e das áreas, tornando os resultados obtidos com menos interferência de erro.

Figura 5 – Áreas de estudo.



Fonte: O autor.

A coleta de amostras indeformadas ocorreu por meio de abertura de mini trincheiras de $0.40 \times 0.40 \times 0.40 \times 0.40$ m para coletas tanto das amostras deformadas de 0.0.10, e 0.10-0.20 metros que serviram para as análises dos parâmetros químicos e físicos (duas camadas) e microbiológicos (apenas a camada de 0.0-0.10 metros), quanto para as coletas das amostras indeformadas (parâmetros físicos), também nas profundidades de 0-0.10, e 0.10-0.20 metros (considerando o centro da camada), utilizando-se para isso um amostrador tipo castelinho e anel volumétrico de 100 cm^3 , seguindo metodologia descrita em Zanatta, Pulrolnik e Viana (2015) (**Figura 6**).



Figura 6 - Coleta de solo indeformada.

Fonte: O autor.

Ao todo foram coletadas, 210 amostras de solo, somando-se as profundidades e o tipo de análise (30 para análises microbiológicas, 60 para análises físicas e químicas, 60 para análises de densidade e 60 para análises de carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica).

2º Fase

4.2 Análises dos atributos físicos do solo

Foram realizadas análises granulométricas para todas as amostras coletadas. Foi realizado o método da pipeta para quantificação do silte e da argila, com agitação lenta da Terra Fina seca ao ar (TFSA) por 16 hs e 50 rpm em agitador de solo rotativo para análise física, modelo TE-161, TECNAL, a fração areia foi separada das frações finas (silte e argila) por peneira de 0,053mm (Metodologia Instituto Agronômico – IAC). O silte foi separado da fração argila por sedimentação, com a medição da temperatura

da suspensão e respeitado o tempo de sedimentação do silte para a respectiva temperatura (Teixeira *et al.* 2017).

De acordo com as análises de granulometria, as três áreas apresentam a mesma classificação, textura arenosa. Ainda que a classificação tenha sido a mesma para as áreas, o solo do SAF possui maior quantidade de areia total e menor quantidade de argila, nas duas profundidades, como mostrado na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Resultado das análises granulométricas nas profundidades 0 – 10 cm e 10 – 20 cm nas áreas de estudo

	0 -10 cm			10 -20 cm		
Área	Areia Total	Silte	Argila	Areia Total	Silte	Argila
		(g kg-1)			(g kg-1)	
Mata Preservada	886,67	10,23	103,1	879,2	20,3	100,6
Pastagem	903,06	21,39	75,55	896,4	22,6	81,2
SAF	939,93	17,37	42,7	926,3	16,8	56,7

Foram ainda realizadas as análises de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e calculada a porosidade total (Pt), seguindo a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017).

4.3 Análises do solo para caracterização química

Todas as amostras deformadas coletadas foram encaminhadas para análise de fertilidade pH (CaCl2), H + AI, Matéria Orgânica, P(resina), K, Ca, Mg, S-SO₄²⁻, e AI³⁺). As análises de fertilidade do solo foram realizadas de acordo com os padrões do Estado de São Paulo (Raij *et al.*, 2001).

Também foi realizado, para todas as amostras, análise de carbono orgânico total (COT).

O carbono da fração do solo retido na peneira de 53 µm foi denominado carbono orgânico particulado (COP). Os teores de carbono orgânico associado a minerais foram obtidos subtraindo-se o COP do COT; COAM é o carbono determinado via oxidação úmida (Yeomans; Bremner, 1988).

Os estoques de carbono orgânico total em cada camada foram determinados em ambas as profundidades 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, e foi calculado pela expressão (Campos *et al.*, 2016):

Est
$$C = (COT \times DS \times E) / 10$$

Em que:

Est C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹);

COT = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo (kg dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

Figura 7 – Amostras (0-10cm) das áreas para análises químicas

PASTAGEM



Fonte: O autor.

SAF



ÁREA DE PRESERVAÇÃO



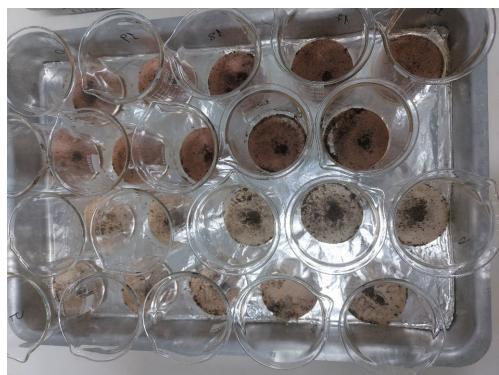


Figura 8 – Fracionamento do C: do COP das áreas



Figura 9 - Análise de COT e COP

4.4 Análises microbiológicas do solo

Os parâmetros microbiológicos foram analisados nas amostras coletadas na camada de 0-10 cm, e correspondem a respiração basal do solo, análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico (q_{CO2}), atividade enzimática da desidrogenase e FDA.

4.5 Análise de respiração do solo

A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nannipieri (1995), sendo utilizadas amostras de 50g de solo que foram homogeneizadas e mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco foi colocado um becker de 100 mL, contendo 40 mL de solução de NaOH 0,5 mol L-1. Os frascos foram incubados pelo período de 96 horas. Para avaliar a retenção de CO₂ na solução, foi utilizado o método condutimétrico (Rodella; Saboya, 1999) com leitura de condutividade na solução de NaOH após 96 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados serão expressos em mg de C-CO₂ g-1 h-1.



Figura 10 – Procedimento para análise de Respiração do solo

4.6 Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

A análise de biomassa microbiana do solo - BMS foi realizada, em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira, Camargo e Vidor (1999), onde o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, e depois peneirado em malha de 2,0 mm. Na etapa seguinte, duas amostras de 50 g de cada tratamento foram pesadas em erlenmeyer de 250 mL e reumedecidas com 3 mL de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (Reichardt, 1988), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade e colocada 1 amostra de cada tratamento para irradiar no micro-ondas pelotempo que foi determinado pela seguinte equação:

$$P = \frac{(r * mt)}{P}$$

Onde, T = refere-se ao tempo real de exposição das amostras ao micro-ondas; R = $800J \ g^{-1}$ de solo, quantidade de energia necessária para exposição; m_t = a massa total das amostras a serem irradiadas em gramas; e P = potência real do aparelho em W.

A potência real do aparelho foi calculada pela seguinte equação:

$$P = \frac{(Cp * K * \Delta t * m)}{T}$$

Onde, P refere-se à potência real do aparelho em W; Cp = 1 J ml⁻¹ °K⁻¹, capacidade da água de receber calor; K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ ° K⁻¹ para watts (J s⁻¹); Δt = variação de temperatura em °C de 1 L de água em 2 minutos de exposição; m = 1000 g, massa da água em gramas; e t = 120 s, tempo de exposição da água ao micro-ondas.

As amostras irradiadas e não irradiadas foram submetidas à extração com 50 mL de sulfato de potássio - K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) por 30 minutos, em agitador rotatório circular, deixadas decantar e filtradas em papel tipo faixa azul de filtração lenta.

A determinação do carbono nos extratos irradiados e não irradiados foi realizada utilizando 10 mL do extrato, oriundo dos 50 mL após filtração, e adicionando em seguida 2 mL de dicromato de potássio K₂Cr₂O₇ (0,066 mol L⁻¹), 10 mL de ácido sulfúrico H₂SO₄ concentrado e 5 mL de ácido fosfórico H₃PO₄ concentrado. Após o resfriamento foi adicionado 50 mL de água destilada. A titulação ocorreu com a utilização do sulfato ferroso amoniacal (0,04 mol L⁻¹) com fenilalanina como indicador.

O C extraído do solo foi calculado pela fórmula:

$$C (mg Kg^{-1}) = \frac{((Vb - Va) * N * 1000 * Vextrator)}{(volume do extrato * MSS)}$$

Onde, C refere-se ao carbono extraído do solo; V_b é o volume (mL) do (NH₄)₂ Fe(SO₄)₂ gasto na titulação do branco; V_a é o volume (mL) do (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ gasto na titulação da amostra; N é a normalidade exata do (NH₄)₂Fe(SO₄)₂, N = 0,677; V_{extrator} é o volume de K₂SO₄ utilizado na extração = 50 mL; V_{extrato} é o Volume de K₂SO₄ utilizado para análise = 10 mL; e MSS é a massa do solo seco em gramas = 50 g.

O Cmic é calculado pela equação:

$$Cmic (mg Kg^{-1}) = \frac{(C_{I} - C_{NI})}{K_{ec}}$$

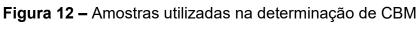
Onde, C_I refere-se ao carbono extraído do solo irradiado; C_{NI} ao carbono extraído do solo não irradiado; K_{ec} é a proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (Frighetto, 2000).

O fator de correção K_{ec} citados na literatura é variável (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor que foi utilizado. Neste trabalho foi adotado o valor de 0,21 (Frighetto, 2000).

O nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Joergensen e Brookes (1990). Para proceder esta análise foi utilizado o mesmo extrato do C_{mic}, a partir de 0,6 mL do extrato adicionado a um tubo de ensaio. Junto ao extrato foi adicionado 1,4 mL de ácido cítrico (0,2 mol L⁻¹) a pH 5,0 e 1 mL do reagente ninidrina. Os tubos foram incubados à 100 °C, em banhomaria, por 25 minutos. Após esfriamento, foram adicionados 4 mL da mistura etanol:água (1:1), para posterior leitura no espectrofotômetro a 570 nm.



Figura 11 – Amostras separadas em irradiadas e não irradiadas para agitação





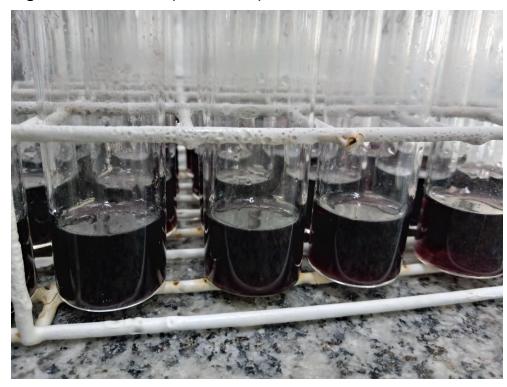


Figura 13 – Amostras para NBM após banho-maria.

4.7 Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico é a razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração do solo pelo C na biomassa microbiana, expresso em mg C-CO₂ g⁻¹ BMS – C h⁻¹ (Anderson; Domsch, 1993).

4.8 Atividade da enzima desidrogenase

A atividade da enzima desidrogenase, estimada segundo Van Os e Ginkel (2001), foram realizadas em triplicatas, a partir de 5 g de solo de cada amostra acondicionadas em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados 2 mL da solução T.T.C a 1%, juntamente com 1 mL de glicose a 0,1%. Na amostra "branco" foram adicionadas 1 mL de glicose a 0,1% e 2 mL da solução tampão tris a 0,1 M (pH = 7,6). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a 30 °C por 18 h. Após a incubação, foram adicionados 9 mL de metanol em todas as amostras, e logo em seguida filtradas para a realização da leitura no

espectrofotômetro em 530 nm. Os resultados foram ajustados em curva padrão e expressos na forma de concentração de TTF - formazan (ug.g¹).



Figura 14 - Análise da atividade da enzima desidrogenase das áreas

Fonte: O autor.

4.9 Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA

A atividade hidrolítica do FDA foi estimada segundo Swisher e Carroll (1980). Amostras de 5 g de solo foram transferidas para erlenmeyer (125 mL) juntamente com 20 mL de tampão fosfato de potássio pH 7,6 e 0,2 mL de solução estoque de FDA (2 mg mL⁻¹ acetona). A reação foi interrompida pela adição de 20 mL de acetona. Após incubação a 25°C por 20 minutos sob agitação (150 rpm), as suspensões de solo foram filtradas e a leitura realizada em espectrofotômetro a 490 nm.



Figura 15 – Amostras prontas para leitura para análise hidrolítica do FDA

3° Fase

5 ANÁLISE GERAL DOS DADOS

Para cada atributo estudado foi realizada análise descritiva auxiliada pela estatística clássica (máximo, mínimo, média, desvio padrão, coeficiente de variação), após verificação da normalidade (SHAPIRO - WILK) e homocedasticidade (LEVENE) dos dados, os resultados de cada variável foram submetidos à análise de variância de um fator (ANOVA), utilizando-se o software R (R Development Core Team, 2006).

Foram estudados os padrões existentes nas áreas por meio da análise de correlação de Pearson, considerando apenas os valores de correlação com significância estatística de p<0,05.

Complementando, os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP). Com esta análise é possível condensar a variação multidimensional dos dados em um diagrama, com isso, essa análise se torna útil para análise exploratória de dados, permitindo visualizar a variação presente em um conjunto de dados com muitas variáveis.

As variáveis consideradas nesta análise foram: carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, estoque de carbono, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana,

atividade da enzima desidrogenase, FDA, respiração do solo, quociente metabólico, densidade do solo e matéria orgânica do solo.

6 RESULTADOS

Os resultados granulométricos mostraram que as três áreas possuem o solo de característica arenosa, com baixo teor de argila (**Tabela 1**). Essa característica reflete diretamente os resultados de caracterização de fertilidade do solo, demonstrando ser um solo ácido e de baixa fertilidade, tendo como base a área de Mata Preservada (**Tabelas 2 e 3**).

Na Tabela 2 pode-se observar um pH mais ácido na área de Mata Preservada (3,71) que, possuindo uma concentração de Al³+ mais elevada (7,23), em comparação com as outras duas áreas, essa concentração também interfere em sua Soma de Bases (4,17), com concentração inferior às outras áreas, demonstrando um solo com 63% de saturação por alumínio, contudo, sua Matéria Orgânica foi similar à Matéria Orgânica (M.O) do SAF (24,93 e 23,4 respectivamente). Nesse sentido, os atributos entre a área de SAF e Pastagem não diferiram significativamente, com exceção do P, K e Ca, que, no SAF, P e Ca foram superiores (14,8 e 11,91) e o K inferior (1,52).

Tabela 2 – Análises químicas na profundidade 0 – 10cm entre as áreas de estudo. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável

Área	рН	M.O.	Р	S- SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H+AI	K	Ca	Mg	SB	CTC	m	V
	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg	dm ⁻³)			(mmol _c (dm ⁻³)			(%	6)
Mata Preservada	3,71 b	24,93 a*	4,89 b*	6,35	7,23 a	48,48 a	1,35 b***	1,84 b***	0,99 b	4,17 b	52,64 a	63,64 a	8,09 b
Pastagem	4,67 a ***	20,57 b	4,45 b*	2,69	1,15 b***	19,88 b***	2,44 a	4,73 b*	4,18 a***	11,36 a*	31,24 b**	9,85 b***	36,45 a***
SAF	4,56 a ***	23,4 ab	14,8 a	5,34	0,9 b***	20 b***	1,52 b***	11,91 a	3,59 a**	16,98 a***	37,01 b***	7,18 b***	42,38 a***

Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; S-SO42-: Teor de sulfato; H+Al: Acidez potencial; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por Bases. Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001).

Na profundidade 10 - 20 cm, demonstrada na tabela 3, pode-se observar padrão similar nos atributos dentro das áreas, no entanto, o SAF possui menor concentração de Al³+ (1,87) em comparação as outras duas áreas. A Pastagem se manteve no mesmo nível da Mata Preservada nos parâmetros de Ca e Mg enquanto que o SAF reteve maior quantidade desses nutrientes (2,83 e 1,68, respectivamente). A Mata Preservada apresentou pH de solo mais ácido e maior teor de M.O.

Tabela 3 – Análises químicas na profundidade 10 – 20cm entre as áreas de estudo. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável

Área	рН	M.O.	Р	S- SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H+AI	K	Ca	Mg	SB	СТС	m	V
	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg	dm ⁻³)			((mmol _c	dm ⁻³)			(%)
Mata Preservada	3,88 b	23,64 a	2,91	1,78	6,97 a	36,16 a***	1,33 b*	0,49 b	0,26 b	2,09 b	39,24 a	69,84 a	5,73 b
Pastagem	4,28 a***	20,05 b***	3,34	0,44	4,58 b**	22,44 a***	1,79 a	1,6 ab	1,17 ab	4,57 a*	27,01 b**	49,07 b*	17,2 a*
SAF	4,38 a***	20,92 b**	5,79	1,52	1,87 c***	19,18 b	1,44 b*	2,83 a**	1,68 a*	5,94 a*	26,14 b**	29,85 b***	23,98 a***

Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; S-SO42-: Teor de sulfato; H+Al: Acidez potencial; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por Bases. Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001).

O solo da Mata Preservada, seguida pelo SAF, apresentou maior teor de Carbono Orgânico Total (COT) o que refletiu na análise de Carbono Orgânico Particulado (COP) demonstrando que mesmo que na Pastagem, nas análises de caracterização de fertilidade (Tabelas 2 e 3), a quantidade de Matéria Orgânica (M.O) não tenha diferido do SAF na profundidade de 10 – 20 cm, houve diferenciação dessa M.O quanto aos teores de COT e COP. Contudo, os valores de Carbono Orgânico Mineral (COM) não diferiram significativamente entre o SAF e a Pastagem, como observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Carbono Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COAM) nas áreas de estudo em profundidades 0 – 10 cm e 10 – 20 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável, letras maiúsculas diferenciam a variável na profundidade da mesma área

	COT	COP	COAM	COT	COP	COAM	
Área		-0 - 10 cm	10 - 20 cm				
			(g kg ⁻¹))			
Mata Preservada	10,82 a** A***	4,48 a** A***	6,34 a A**	5,90 a B	1,67 a ** B	4,23 a B	
Pastagem	5,41 b A*	2,10 b A*	3,30 b ***	2,95 b *** B	0,51 b B	2,44 b **	
SAF	7,02 a * A***	3,85 a * A***	3,18 b ***	3,46 b *** B	1,57 a** B	1,9 b ***	

Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001).

Com relação aos resultados do Estoque de Carbono no solo, a área de Mata Preservada obteve os maiores teores em ambas as profundidades com relação aos outros dois sistemas embora que, a nível de significância estatística, o SAF apresentou teores intermediários dos valores na camada de 0 – 10 cm, se equiparando ao sistema de Pastagem e Mata Preservada.

Tabela 5 – Estoques de Carbono nas áreas de estudo nas profundidades 0 – 10 cm e 10 – 20 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável dentro da mesma profundidade

	Estoque (de Carbono
Área		ı ha ⁻¹
	0 - 10 cm	10 - 20 cm
Mata Preservada	14,33 a	8,24 a
Pastagem	8,27 b***	4,55 b***
SAF	10,10 ab	5.28 b**

Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001).

Na Tabela 6 constam os resultados de Densidade do Solo (Ds), Porosidade Total (Pt) e Densidade de Partículas (D.p nas profundidades 0 - 10 e 10 - 20 cm.

A Ds nas áreas de Pastagem e SAF foi maior em ambas as profundidades, e não foi observada diferença na Dp e Pt.

Tabela 6 – Resultados de Densidade do Solo (Ds), Densidade de Partículas (Dp) e Porosidade Total (Pt), nas áreas e nas profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável dentro da mesma profundidade

		0 - 10 cm	10 - 20 cm				
Área	Ds	Dp	Pt	Ds	Dp	Pt	
	(g/c	m ⁻³)	(%)	(g/c	(%)		
Mata Preservada	1,34 b	2,62	48,90	1,39 b	2,59	46,28	
Pastagem	1,53 a **	2,75	44,40	1,55 a *	2,71	42,66	
SAF	1,47 a *	2,67	45,34	1,55 a*	2,72	42,95	

Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001).

Não houve diferença significativa na respiração do solo, entretanto, o quociente metabólico (qCO₂) do SAF foi maior em relação à mata preservada, devido ao menor valor do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do mesmo, já que esta

variável expressa-se como a razão da respiração do solo, sob a massa de carbono dos microrganismos (**Tabela 7**). Em relação a Pastagem, o SAF apresentou maior teor de Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM). Nos resultados da atividade da enzima FDA, o SAF possui os menores valores. A atividade da enzima Desidrogenase, foi diferente nas três áreas, como podemos observar na Tabela 7.

Tabela 7 – Análises dos parâmetros microbiológicos nas áreas, em profundidade 0 – 10 cm. Letras minúsculas diferenciam as áreas na mesma variável

Área	RESPIRAÇÃO DO SOLO	q CO ₂	СВМ	NBM	DESIDROGENASE	FDA
Mata Preservada	9,72	6,46 b	196,04 a ***	7,30 a**	1,31 c***	109,17 a***
Pastagem	10,49	6,93 ab	161,84 ab	3,10 b	9,87 a***	129,48 a***
SAF	12,87	10,62 a*	127,52 b	8,33 a***	4,80 b***	62,78 b

Respiração do Solo (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹), qCO2 (mg C-CO₂ kg⁻¹ BMS-C h⁻¹), Carbono da Biomassa Microbiana (mg kg⁻¹), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mg kg⁻¹), Atividade da Enzima Desidrogenase (μ g TTF g⁻¹ solo h⁻¹) e Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (μ g FDA g⁻¹ solo h⁻¹). Asteriscos indicam diferença significativa entre as áreas, de acordo com a ANOVA (Teste Tukey.; *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001).

7 DISCUSSÃO

Os solos da região são caracterizados pela presença do Alumínio, sendo considerados solos de baixa fertilidade e ácidos. Fatos esses evidenciados pelos resultados químicos da Mata Preservada (Tabela 2), em que em ambas as profundidades a quantidade de Al³+ foi maior e seu pH foi menor comparados aos outros dois sistemas. Pode-se observar maiores teores de COT na Mata Preservada e no SAF assim como também obtiveram maiores teores de NBM em relação à Pastagem, com destaque para os valores de *qCO*2 no SAF, isso pode estar atrelado à população de microrganismos específica das áreas, às características físicas do solo e à complexidade da serrapilheira desses sistemas, uma vez que um solo mais arenoso possui maior quantidade de macroporos e isso proporciona um ambiente em que os microrganismos precisam ciclar os nutrientes de uma forma mais eficaz, pois como consequência de um solo ARENOSO, os nutrientes advindos da decomposição da matéria orgânica tendem a ser lixiviados pelo solo, sendo logo substituídos pelo alumínio, a composição da serrapilheira é peça chave como fonte desses nutrientes interligada a comunidade de microrganismos (Silva *et al.*, 2012).

A área de Pastagem obteve maiores teores de K⁺ em ambas as profundidades. Leite *et al.* (2013) relata que maiores teores de K⁺ vem sendo atribuídos a áreas de pastagem devido à capacidade do sistema radicular das gramíneas de absorver e acumular K⁺, e uma vez que esse elemento está presente nas plantas na forma iônica, sua liberação é feita mais rapidamente para o solo por meio da ciclagem, permitindo a maior disponibilidade desse nutriente. Uma das grandes ações das forrageiras no sistema é realizar a ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo.

Maiores quantidades de P e Ca²⁺ (14,8 e 11,91, respectivamente) no SAF podem estar relacionadas com a composição das espécies arbóreas que o constituem além do próprio café (*Coffea arabica* L.) do sistema, provendo assim uma serrapilheira diferenciada desses nutrientes (Arato, Martins, Ferrari, 2003), uma vez que o processo de decomposição esteja mais acelerado nesse sistema, constatado pelo *qCO*₂ (Tabela 7) mais elevado no SAF demonstrando maior atividade microbiológica (Souza *et al.*, 2021).

Alguns dos principais atributos microbiológicos utilizados como indicadores da qualidade do solo são a respiração microbiana do solo (C-CO₂), o carbono da

biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (*qCO*₂) (Vinhal-Freitas *et al.*, 2017; Maharjan *et al.*, 2017). A maior liberação de nutrientes associadas à rápida ciclagem pelos microrganismos pode ser compreendida com a queda dos teores desses nutrientes na segunda profundidade (Tabela 3), demonstrando que a maior atividade dos microrganismos se concentra na camada 0 – 10 cm (Pezarico *et al.*, 2013).

A Tabela 4 demonstra a similaridade entre o SAF e a Mata Preservada quanto ao Carbono Orgânico Total (COT). Essa similaridade na camada superficial está relacionada com o acúmulo de material orgânico depositado no solo, advindo de sua serrapilheira. Ambos os sistemas são constituídos por espécies nativas e de porte arbóreo dando incremento radicular ao solo contribuindo com o acúmulo de COT e, consequentemente de Carbono Orgânico Particulado (COP).

De acordo com Campos *et al.* (2016), além do acúmulo de serrapilheira, maiores valores de COT podem estar associados a baixa fertilidade (Tabelas 2 e 3) e a presença de elementos tóxicos, como por exemplo o Al trocável, que propiciam o maior acúmulo de COT no solo, uma vez que o Al afeta de forma negativa, diretamente as ações dos microrganismos, que já precisam lidar com um material orgânico rico em lignina e com concentrações maiores de celulose advindos das espécies arbóreas. Nesse sentido, a redução do COT no ambiente de Pastagem (Tabela 4) está relacionada, dentre outros fatores, à degradação do solo, principalmente pela redução de aporte de material orgânico e a ciclagem de nutrientes que, por não possuir uma cobertura vegetal diversificada, sendo composta predominantemente por gramíneas, sua fonte de material orgânico é de mais fácil decomposição pela baixa complexidade, além do revolvimento do solo (Guimarães; Gonzaga; Melo Neto, 2014), levando em consideração que a área de Pastagem desse estudo está sem correção e sem manejo desde a instalação do assentamento, a mais de 20 anos.

O Carbono orgânico particulado (COP) é uma fração lábil da Matéria Orgânica do Solo (MOS) que apresenta maior taxa de (re)ciclagem dos constituintes orgânicos, logo, as alterações em seus estoques são percebidas em curto prazo, atreladas ao manejo do solo (Bayer *et al.*, 2002; Feller; Beare, 1997). Nesse sentido, o COP é comumente atribuído como uma fração sensível às práticas de manejo, tendo como característica de agente cimentante do solo agindo nas formações dos agregados. Houve menores valores de COP na área de pastagem em ambas as profundidades (Tabela 4), diferindo os dois sistemas (SAF e Mata Preservada). Como característica,

a pastagem possui sua fonte de material orgânico para decomposição mais simples, ou seja, com baixa relação C/N (Carbono/Nitrogênio), proveniente dos tecidos vegetais das gramíneas, dentre as áreas estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa *et al.* (2020), que corroboram com a informação de que essa fração lábil é mais sensível ao manejo do solo e serve como principal indicador para avaliar as mudanças nos teores de COT. Por outro lado, o teor de Carbono Orgânico Associado aos Minerais (Tabela 4), não diferiu entre o SAF e a Pastagem, isso pode ser devido a essa fração ser considerada mais estável da MOS, tendo ação recalcitrante que está ligado à grupos específicos presentes nas argilas no solo, precisando de um estímulo maior do ambiente para ser degradado, além dessa fração ser composta por substâncias húmicas que exercem função da estabilização dos macro agregados (Cambardella; Elliott, 1992), logo, ela é menos sensível as ações de manejo do solo.

Ainda de acordo com Costa *et al.* (2020), maiores valores de COP podem estar relacionados com as hifas das espécies arbóreas nesses ambientes, principalmente na profundidade 0 – 10 cm. A **Figura 16** ilustra a composição de material orgânico do solo no SAF na profundidade 0 – 10 cm, podendo-se observar a serrapilheira acima e as raízes finas logo abaixo penetrando no solo amostrado.

Figura 16 - Coleta de solo no SAF na profundidade 0 - 10 cm





Fonte: O autor.

Em relação as áreas, o SAF obteve teores intermediários na camada 0 – 10 cm em relação aos outros dois sistemas, tendo um teor de Estoque superior em 22,13% ao sistema de Pastagem nessa camada. Trabalhos de pesquisa envolvendo

sistemas agroflorestais mostram que a combinação de espécies arbóreas gera maior acúmulo de biomassa ativa (Linhares *et al.*, 2016), incrementando substancialmente o estoque de carbono do solo, além de conservar as propriedades químicas do solo (Barbosa *et al.*, 2016).

A estrutura complexa de plantio misto do SAF intercalando espécies arbóreas ao cultivo do cafeeiro, promove aumentos tanto qualitativos como quantitativos nas diferentes frações da matéria orgânica do solo (COT, COP e COAM) e ao estoque de carbono, vital para a qualidade do solo (Iwata et al., 2021), uma vez que os solos dessa região são pobres em teores de argila e dependem da dinâmica e acúmulo de matéria orgânica.

A análise de respiração microbiana do solo (C-CO₂) é um dos mais antigos parâmetros para quantificar a atividade microbiana, representando a oxidação da MOS por organismos aeróbios do solo (Moreira; Siqueira, 2006). O grau de *qCO*₂ está relacionado a atividade microbiana e consequentemente, a perda de carbono levando a menores teores de CBM no sistema (Souza *et al.*, 2021). Os menores teores de CBM e maiores teores de *qCO*₂ (Tabela 7) no SAF, sugerem maior eficiência de decomposição da matéria orgânica, por outro lado, também pode sugerir que as condições desse sistema propiciam um estado de condição mais estressante para a população microbiana, demandando uma quantidade maior de energia, tendo como observação a robustez da matéria orgânica desse sistema advindo de sua complexa serrapilheira, enquanto que na Pastagem, sua biomassa é mais simples e de baixa qualidade (Barreto *et al.*, 2008).

A atividade da enzima Desidrogenase no solo representa a atividade oxidativa total da microbiota que é intracelular e de baixa atividade quando está em estado livre no solo, por isso é considerada como um bom indicador de atividade microbiana (Andrade; Silveira, 2004). Contudo, vários fatores ambientais como, umidade do solo, disponibilidade de oxigênio, potencial de oxidação-redução, MOS, temperatura, estação do ano, contaminação por metais pesados, nível de acidez, podem afetar a desidrogenase no ambiente do solo (Wolinska; Stepniewska, 2012). Diferentemente da Desidrogenase, a FDA está relacionada à diversidade vegetal, teor de matéria orgânica e estado de decomposição (Souza *et al.*, 2020).

A atividade da enzima desidrogenase no SAF foi maior quando comparada ao sistema de Mata Preservada, contudo, a atividade FDA no SAF foi inferior. Na Pastagem a atividade da enzima desidrogenase foi maior que os outros dois sistemas,

provavelmente estimulada pela característica do solo em que esse sistema se encontra que pela classificação do Instituto Florestal está em uma região caracterizada como um tipo de Gleissolo. Já os maiores teores de FDA podem estar ligados às características radiculares das gramíneas que podem prover uma rizosfera prepotente à atividade microbiológica (Souza *et al.*, 2021).

Na área da Mata Preservada podemos verificar que assim como a área de pastagem a atividade da FDA foi superior e, no caso da Mata, houve uma resposta mais uniforme em relação aos demais parâmetros microbiológicos avaliados, como a uma complexa comunidade microbiológica fica evidenciada quando se observa que o conteúdo de Nitrogênio da Biomassa Microbiana sendo superior na Mata Preservada e no SAF (7,3 e 8,33, respectivamente – Tabela 7) quando comparadas à Pastagem, principalmente devido à participação de espécies leguminosas, capazes de realizar processos de FBN provenientes dessas áreas (Costa *et al.*, 2014).

Wolinska e Stepniewska (2012) relatam que, apesar de ser encontrada em organismos aeróbios, a atividade da enzima Desidrogenase é encontrada com maior frequência em microrganismos anaeróbios, logo, em um ambiente mais compactado, pode-se observar valores mais elevados desse indicador, como é o caso da Pastagem (Tabela 6 e 7). Com a análise de Correlação de Pearson (Figura 17), pode-se observar uma correlação positiva forte (0,67 entre a Densidade do Solo (Ds) e a Atividade da enzima Desidrogenase (DHA).

A Ds teve uma correlação negativa forte de 0,63 com o COT, aferindo que, mesmo o SAF tendo sua Ds similar à Pastagem, conseguiu ter sua quantidade de COT similar à Mata Preservada, devido principalmente ao aporte de serrapilheira e ao sistema radicular das espécies arbóreas constituintes do sistema, enquanto que a Pastagem possui como flora predominante gramíneas.

Como mostrado por Costa *et al.* (2020), pode-se observar uma correlação positiva forte de 0,66 entre a Matéria Orgânica do solo e o Carbono Orgânico Particulado, demonstrando sua função como indicador da qualidade do solo em relação a sua quantidade de Carbono Orgânico Total.

Por meio da matriz de correlação (**Figura 17**), é possível observar que os atributos qCO_2 e CBM apresentam correlação negativa forte, ou seja, inversamente proporcional, evidenciando a melhor eficiência da microfauna no uso do substrato quando se observa a tabela 7 demonstrando que o SAF obteve os menores teores de CBM e os maiores teores de qCO_2 . Em sentido oposto, à medida que C-CO₂ aumenta,

o *qCO*₂ também aumenta (0,51 de correlação), sugerindo que, a composição da serrapilheira libera carbono orgânico no solo, o que proporciona maior na atividade metabólica dos microrganismos do que incorporação de carbono nos tecidos microbianos, evidenciando perda de CO₂ no sistema (Souza *et al.*, 2021).

Foram estudados os padrões existentes na área por meio da análise de correlação de Pearson, considerando apenas os valores de correlação com significância estatística de p<0,05. Os valores de correlação de Pearson variam de -1 a 1. Na matriz de correlação (Figura 17), valores azuis indicam correlações positivas, enquanto valores vermelhos, indicam correlações negativas. Quanto mais intensa a cor de azul ou vermelho, mais próximo de 1 ou -1 é a correlação, respectivamente. Isso indica se a correlação é forte (+1 ou -1) ou fraca (-0,5<x<0,5). Os valores em branco querem dizer que a correlação não foi estatisticamente significativa à probabilidade de p<0,05. A correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre variáveis quantitativas (Paranhos *et al.*, 2014).

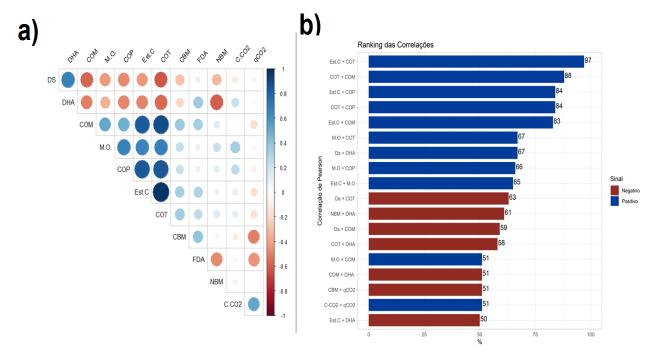


Figura 17 – Matriz de Correlação de Pearson

Legenda: (a) Matriz de correlação e (b) ranking com as 13 combinações de variáveis com maiores correlações positivas e negativas, com significância de p <0,05. Cores azuis e vermelhas indicam correlações positivas e negativas, respectivamente. Espaços vazios indicam que as correlações não são estatisticamente significativas à p <0,05. Siglas: Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP), Carbono Orgânico Mineral (COM), Matéria Orgânica do solo (M.O.), Densidade do Solo (DS), Atividade da Enzima Desidrogenase (DHA), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (qCO2) e atividade hidrolítica do FDA (FDA).

Os atributos utilizados na Correlação de Pearson, quando submetidos à análise de componentes principais explicaram 61,1% da dissimilaridade entre as áreas com dois componentes: CP1, que explicou 42,3% e CP2, que explicou 18,8% da variabilidade total dos dados (Figura 18).

O eixo principal 1 (CP1) é melhor representado pelos atributos COT, COM, COP, DS, M.O, DHA e Est C. O eixo principal 2 (CP2) é melhor representado pelos atributos FDA e qCO₂ (Figura 18).

De acordo com a ACP, a área de Pastagem demonstra ter os maiores valores de DS e DHA, corroborando com a Correlação de Pearson que mostrou uma correlação positiva desses atributos, assim como demonstrado em outros estudos e autenticando a veracidade da qualidade dessa enzima como bioindicadora da atividade microbiológica no solo, revelando sua atividade como dependente do manejo do solo adotado e sua sensibilidade aos distúrbios do meio, nesse caso, relacionada à compactação do solo (Wolinska.; Bennicelli, 2010).

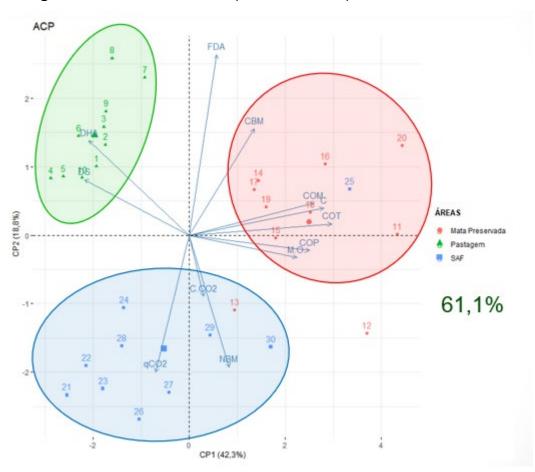
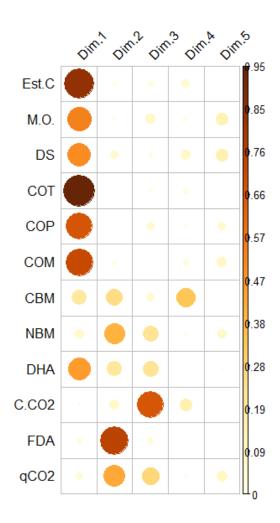


Figura 18 – Análise dos Componentes Principais

Legenda: Componentes principais são a estrutura subjacente nos dados. São as direções em que há maior variação (CP1 e CP2 – por isso se indica a variância associada aos CPS), as direções em que os dados estão mais espalhados. Isso significa que tentamos encontrar a linha reta que melhor espalha os dados quando são projetados ao longo deles. Este é o primeiro componente principal, a linha reta que mostra a variação mais substancial nos dados (no nosso caso, 42,3 % da variação dos dados). Siglas: Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP), Carbono Orgânico Mineral (COM), Matéria Orgânica do solo (M.O.), Densidade do Solo (DS), Atividade da Enzima Desidrogenase (DHA), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (qCO_2), atividade hidrolítica do FDA (FDA) e Estoque de Carbono Orgânico no Solo (C).

Os atributos relacionados a quantidade de matéria orgânica e atividade microbiológica obtiveram maior representatividade como componentes para as áreas de SAF e Mata Preservada, mostrando que a recuperação do solo com o SAF estabelecido a 20 anos está agindo positivamente, tendo em vista o aporte de material orgânico depositado, com o alto índice de *qCO*₂, C-CO₂ e NBM na área de SAF com a colaboração dos parâmetros de Carbono encontrados (Figura 19).

Figura 19 - Gráficos das cargas fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (ACP)



Legenda: Representação gráfica da representatividade estatística de cada variável no eixo principal. Siglas: Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP), Carbono Orgânico Mineral (COM), Matéria Orgânica do solo (M.O.), Densidade do Solo (DS), Atividade da Enzima Desidrogenase (DHA), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (qCO_2), atividade hidrolítica do FDA (FDA) e Estoque de Carbono Orgânico do Solo (C).

Embora haja dissimilaridade entre as três áreas, o eixo principal 1 deteve as maiores concentrações explicadas dos atributos relacionados aos bioindicadores de atividade microbiológica e quantidade de Carbono para ambas áreas de SAF e Mata Preservada. Muito provavelmente influenciados pelo componente arbóreo dessas áreas, ausente na área de Pastagem. Em concordância à essa explicação, um estudo em um sistema agroflorestal composto por *Grevillea robusta* e *Coffea arabica*, foi observado que a concentração de raízes finas influencia positivamente o estoque de carbono (Est C) na camada superficial do solo (0-10 cm). Ainda de acordo com esse estudo, a presença das raízes finas na camada superficial é favorecida pela maior disponibilidade de nutrientes provenientes da MOS por via serrapilheira (Monroe, 2021).

8 CONCLUSÃO

As três áreas estudadas possuem um solo com baixa fertilidade, ácidos e textura arenosa, o SAF demonstrou ser promissor mesmo nessas condições quanto à retenção de Carbono Orgânico e Matéria Orgânica, propiciando um solo com maior plasticidade à implementação de cultivo misto com a espécie *Coffea arabica*.

A área de Pastagem proporcionou resultados que demonstram ser a área mais degradada, tendo como bioindicador que mais descreveu essa característica a atividade da enzima desidrogenase.

O *qCO*₂ contribuiu como indicador para compreender a atividade microbiológica nas áreas e sua relação com os atributos de fertilidade do solo.

9. CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO ARBÓREA NA DINÂMICA DA SERRAPILHEIRAEM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM MIRANTE DO PARANAPANEMA / SP

9.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são reconhecidos por sua capacidade de promover a sustentabilidade agrícola e a conservação da biodiversidade (Pereira *et al.*, 2004; Jose, 2019). Em regiões com solos arenosos, como em Mirante do Paranapanema, a adoção de SAFs é uma estratégia eficaz para melhorar a fertilidade do solo e promover a recuperação de áreas degradadas (BALBINO *et al.*, 2012; Fahad *et al.*, 2022). A diversidade de espécies em SAFs também contribui para a regulação de serviços ecossistêmicos, como a polinização e o controle de pragas (Nair, 2012).

Em regiões tropicais e subtropicais, em particular, onde a degradação do solo e a perda de biodiversidade são problemas críticos, os sistemas agroflorestais emergem como uma estratégia vital para restaurar a saúde do solo e promover a biodiversidade (Jose, 2009; Silva-Galicia *et al.*, 2022). No entanto, a implementação bem-sucedida desses sistemas requer um entendimento profundo das interações planta-solo. Há um consenso na literatura de que a diversidade de espécies em sistemas agroflorestais pode influenciar positivamente a qualidade do solo (Barrios, 2007). Contudo, as nuances dessa relação, especialmente como diferentes espécies ou famílias botânicas específicas afetam propriedades individuais do solo, como o carbono orgânico e o teor de magnésio, ainda não foram plenamente exploradas.

Além disso, com as crescentes ameaças das mudanças climáticas, há uma demanda urgente por práticas agrícolas que não apenas aumentem a produção, mas também sejam resilientes a eventos climáticos extremos e ajudem na mitigação da mudança do clima. Os sistemas agroflorestais, com sua diversidade inerente, têm o potencial de se adaptar e mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, tornando-os ainda mais relevantes no cenário agrícola atual (Lin, 2011).

Dentro desse contexto, o presente estudo busca esclarecer e aprofundar a compreensão dessas relações. A motivação para esta investigação surge do reconhecimento de que a gestão otimizada de sistemas agroflorestais pode desempenhar um papel crucial em direção a uma agricultura mais sustentável,

equilibrando a necessidade de produção de alimentos com a conservação ecológica (Tilman; Isbell; Cowles *et al.*, 2017).

9.2 OBJETIVO GERAL

Investigar as diferenças nas propriedades da serrapilheira e do solo associadas a diversas espécies de árvores, famílias botânicas e tamanhos de árvores em um sistema agroflorestal no oeste do estado de São Paulo, Brasil.

9.2.1 Objetivos específicos

Quantificar, qualificar e determinar as características da serrapilheira;

Quantificar, qualificar e determinar as características do solo (parâmetros físicos, químicos e biológicos);

Quantificar o estoque de carbono orgânico na camada de 0-10 e 10-20 cm; Avaliar se há relação entre as espécies florestais utilizadas no SAF.

10 MATERIAL E MÉTODOS

10.1 Caracterização da região e da área de estudo

A maior porção de cobertura vegetal encontrada hoje na região do Pontal do Paranapanema não se compara com sua conformação original, que pode ser encontra especialmente no Parque Estadual Morro do Diabo, sendo esta constituída do Bioma Mata Atlântica (Silva; Fernandes; Valenciano, 2006).

O clima da região caracteriza-se segundo a classificação de Koeppen, como clima do tipo Cwa: de inverno seco com temperaturas médias anuais de 22°C, como clima seco e verão quente e úmido (Instituto Florestal, 2006). Possui maior precipitação no verão com os meses de dezembro a fevereiro os mais chuvosos (Lopes, 2014). Possui o tipo de solo Latossolo arenoso e ácido, predominante (PLANO DE MANEJO, 2006).

Esta área foi escolhida por adotar em parte da área (aproximadamente 1,4 ha), a mais de 20 anos um Sistema Agroflorestal que atualmente consta de espécies arbóreas nativas e frutíferas associado à cultura de café (*Coffea arabica* L.). Para definição desta área, contou-se com o apoio do Instituto de Pesquisas Ecológicas - IPÊ, que executa um importante trabalho na região, trabalhando com projetos que visam o desenvolvimento dos SAFs no Pontal do Paranapanema, junto a assentados rurais de programas da reforma agrária, em uma área de grande impacto para a proteção da Mata Atlântica e toda a sua biodiversidade.

A área de estudo está localizada em uma propriedade rural (Lat. 22°28'2.36"S e Long. 52° 1'2.38"O), pertencente ao Assentamento São Bento, município de Mirante do Paranapanema – SP (**Figura 20**).

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE SAF EM ESTUDO NO ASSENTAMENTO SÃO BENTO -MUNICÍPIO DE MIRANTE DO PARANAPANEMA - SP 1:93.027.673 70°0′0.000″W 35°0′0.000″W 20°0′0,000″S 1:15.578.722 50°0′0,000″W 45°0′0,000″W 52°0′57,600″W 52°0′50,400″W 52°1′4,800″W Legenda Limite da Propriedade do Sistema Agroflorestal MIRANTE DO Elaboração: Italo Rafael de Freitas (2022) Sistema de referência: SIRGAS 2000 Sistema de projeção: UTM Fuso 22S, MC:51°W Fonte: Mapa elaborado a partir da base de dados do IBGE (2010) e ITESP (2018). PARANAPANEMA 1:1.068.738 Unoeste 52°0′0,000″W

Figura 20 - Mapa de localização da área em estudo

10.2 Levantamento Arbóreo

Foi realizado o levantamento arbóreo da área de estudo, para identificação das espécies arbóreas que compõem o SAF. Foram identificadas apenas espécies com diâmetro altura do peito (DAP) maior que 5 cm a 1,30 metros de altura (**Figura 21**).



Figura 21 - Determinação da circunferência altura do peito (CAP) no SAF

A identificação das espécies foi feita tanto em campo, como posteriormente através da coleta de amostras (ramos, folhas e frutos) que foram devidamente numerados e identificados para posterior identificação com auxílio de chaves botânicas nos níveis de espécie, gênero e família. Essas identificações foram feitas com base em literatura especializada e consulta a especialistas.



Figura 22 – Coleta de material para posterior identificação

Fonte: O autor.

Ainda em campo, cada exemplar de árvore recebeu uma identificação única que foi anotada em uma planilha, juntamente com suas respectivas coordenadas

geográficas. Posteriormente, esses dados foram tabulados em arquivo Excel e convertidos em formato Shapefile com auxílio do software Qgis 3.16 (QGIS, 2019).

10.3 Definição da localização e coleta das amostras

Foi definida uma grade amostral de 80 pontos na área de estudo. Tomando-se como referência o perímetro da área, foi utilizado o software QGis 3.16 para determinar de forma aleatória cada ponto que posteriormente foi localizado no campo utilizando-se de um equipamento de sistema de posicionamento global (GPS). A escolha de uma grade amostral aleatória ao invés de uma regular se dá justamente pelo fato de eliminar a equidistância entre os pontos. Segundo Molin, Amaral e Colaço (2015), embora esse arranjo dificulte a navegação dos pontos, apresenta vantagens na análise geoestatística e consequentemente na interpolação. Esta estratégia permite verificar a semelhança entre pontos bastante próximos e entre pontos distantes, ou seja, caracterizar o efeito da distância na semelhança dos pontos. Essa caracterização define a dependência espacial do parâmetro que pode ser utilizada posteriormente na interpolação dos dados.

No processo de coleta dos materiais foi primeiro realizado a coleta da serrapilheira acumulada. Para isso, cada um dos 80 pontos previamente definidos, foi localizado no campo e com o auxílio de uma moldura de metal, de forma quadrada, medindo 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), que serviu para delimitar a área de coleta, toda a serrapilheira circunscrita à moldura foi cuidadosamente retirada, evitando a coleta de solo e raízes vivas (Barbosa *et al.*, 2016). Cada material foi devidamente armazenado em sacos identificados.



Figura 23 – Coleta de solo e serrapilheira

Imediatamente após a coleta da serrapilheira, foram abertas mini trincheiras de 0,40 x 0,40 x 0,40 metros (extensão, largura e profundidade) para coletas tantos das amostras indeformadas de 0-0,10, e 0,10-0,20 metros (com auxílio de uma espátula e uma fita métrica) que serviram para as análises dos parâmetros químicos e físicos (duas camadas) e microbiológicos (apenas a camada de 0,0 – 0,10), quanto para as coletas das amostras indeformadas (parâmetros físicos), também nas profundidades de 0-0,10, e 0,10-0,20 metros (considerando o centro da camada), utilizando-se para isso um amostrador tipo castelinho e anel volumétrico de 100 cm³, seguindo metodologia descrita em Zanatta, Pulrolnik e Viana (2015).

As amostras de solos foram devidamente alocadas em sacos plásticos com etiqueta identificadora e armazenados em caixas térmicas resfriadas.



Figura 24 – Coleta de amostras indeformadas com anel volumétrico 100 cm³

10.4 Análises quantitativa e qualitativa da Serrapilheira

A coleta da serrapilheira e amostras de solo foram realizadas em 12 de novembro de 2021.

As amostras de serrapilheira passaram por uma pré-limpeza, para a remoção das partículas maiores de solo, e, em seguida, foram lavados sem o emprego de detergente, com agitação em água deionizada por alguns segundos, em três porções sucessivas. Após a lavagem, as amostras foram depositadas sobre papel absorvente. A não utilização de detergente diminui o tempo de exposição à agitação com água e o número de porções sucessivas, o que reduz, ao máximo, as prováveis perdas de K⁺ da fitomassa (Soratto *et al.*, 2012). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem massa constante, e pesadas em balança analítica (0,001 g). Os resultados de massa seca (g) obtidos foram convertidos em kg ha⁻¹.

Figura 25 - Preparação da serrapilheira



Figura 26 – Secagem da serrapilheira



Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Willey, para posterior determinação dos teores de macronutrientes (Malavolta; Vitti; Oliveira,1997).

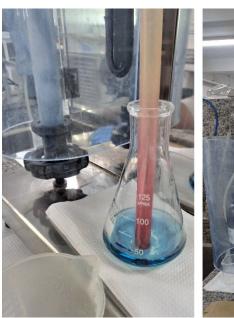
Figura 27 - Moagem da serrapilheira



Fonte: O autor.

As quantidades de macronutrientes, C e N remanescentes nas amostras de serrapilheira foram determinadas pelo produto da quantidade de fitomassa seca e os teores dos elementos no resíduo vegetal.

Figura 28 - Análise de Nitrogênio da serrapilheira





10.5 Análises dos parâmetros físicos do solo

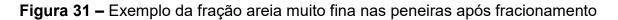
Foram realizadas análises granulométricas para todas as amostras coletadas. Foi realizado o método da pipeta para quantificação da argila, com agitação lenta da TFSA por 16 hs e 50 rpms em agitador tipo Wagner, a fração areia foi separada das frações finas (silte e argila) por peneira de 0,053mm (Metodologia Instituto Agronômico – IAC) e a fração areia foi fracionada: areia muito grossa (AMG): 2 - 1,00 mm; areia grossa (AG): 1,00- 0,50 mm; areia média (AM): 0,50 - 0,210 mm; areia fina (AF): 0,210 - 0,125mm e areia muito fina (AMF): 0,125 - 0,053 mm. O silte foi separado da fração argila por sedimentação, com a medição da temperatura da suspensão e respeitado o tempo de sedimentação do silte para a respectiva temperatura (Teixeira et al., 2017).

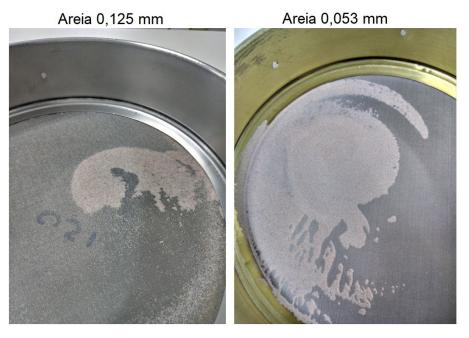


Figura 29 – Análise granulométrica do solo



Figura 30 - Equipamentos para fracionamento da fração areia





Fonte: O autor.

Foram ainda realizadas paras todas as amostras indeformadas as análises de densidade do solo, densidade de partículas e calculada a porosidade total (1- (Ds/Dp) x 100), seguindo a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017) (**Figura 32**).

Diogolah Diogolah Diogolah

Figura 32 - Análise de densidade de partículas

Fonte: O autor.

10.6 Análises do solo para caracterização química

Todas as amostras indeformadas coletadas foram encaminhadas para análise de fertilidade pH (CaCl2), H + Al, Matéria Orgânica, P(resina), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, S-SO₄²⁻, e Al³⁺. As análises de fertilidade do solo foram realizadas de acordo com os padrões do Estado de São Paulo (Raij *et al.*, 2001).

Também foi realizado, para todas as amostras, análise de carbono orgânico total (COT).

O carbono da fração do solo retido na peneira de 53 µm foi denominado carbono orgânico particulado (COP). Os teores de carbono orgânico associado a minerais foram obtidos subtraindo-se o COP do COT; COAM é o carbono determinado via oxidação úmida (Yeomans; Bremner, 1988).

Os estoques de carbono orgânico total em cada camada foram determinados em ambas as profundidades 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, e foi calculado pela expressão (Campos *et al.*, 2016):

Est $C = (COT \times DS \times E) / 10$

Em que:

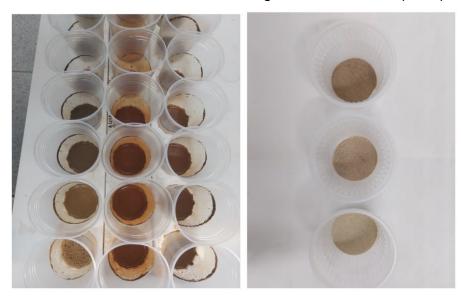
Est C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹);

COT = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo (kg dm^{-3});

e = espessura da camada considerada (cm).

Figura 33 – Fracionamento do Carbono Orgânico Particulado (COP)



Fonte: O autor.

Figura 34 - Análise de Carbono Total



Fonte: O autor.

10.7 Análises microbiológicas do solo

Os parâmetros microbiológicos foram analisados paras as amostras coletadas na camada de 0-10 cm, e correspondem a respiração basal do solo, análise de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico (*q*CO₂), atividade enzimática da desidrogenase e FDA.

10.7.1 Análise de respiração do solo

A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nannipieri (1995), sendo utilizadas amostras de 50g de solo que foram homogeneizadas e mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco foi colocado um becker de 50 mL, contendo 40 mL de solução de NaOH 0,5 mol L-1. Os frascos foram incubados pelo período de 96 horas. Para avaliar a retenção de CO₂ na solução, foi utilizado o método condutimétrico (Rodella; Saboya, 1999) com leitura de condutividade na solução de NaOH após 96 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados serão expressos em mg de C-CO² g-1 h-1.

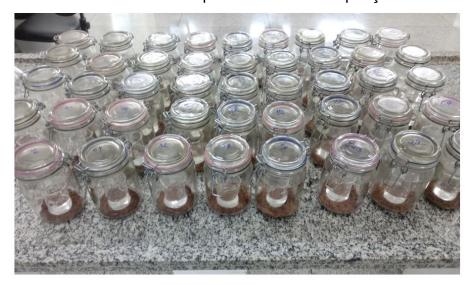


Figura 35 – Amostras incubadas para análise de Respiração do solo

Fonte: O autor.



Figura 36 - Realização da análise de Respiração do solo

Fonte: O autor.

10.7.2 Análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

As análises para determinação de carbono e nitrogênio microbiano foram realizadas em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira, Camargo e Vidor (1999), onde o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, e depois peneirado em malha de 2,0 mm. Na etapa seguinte, duas amostras de 50 g de cada tratamento foram pesadas em erlenmeyer de 250 mL e reumedecidas com 3 mL de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (Reichardt, 1988), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade e colocada 1 amostra de cada tratamento para irradiar no microondas por um tempo que foi determinado pela seguinte equação:

$$P = \frac{(r * m_t)}{P}$$

Onde, T = refere-se ao tempo real de exposição das amostras ao microondas; R = $800J \ g^{-1}$ de solo, quantidade de energia necessária para exposição; m_t = a massa total das amostras a serem irradiadas em gramas; e P = potência real do aparelho em W.

A potência real do aparelho foi calculada pela seguinte equação:

$$P = \frac{(Cp * K * \Delta t * m)}{T}$$

Onde, P refere-se à potência real do aparelho em W; Cp = 1 J ml⁻¹ $^{\rm o}$ K⁻¹, capacidade da água de receber calor; K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ $^{\rm o}$ K⁻¹ para watts (J s⁻¹); Δt = variação de temperatura em $^{\rm o}$ C de 1 L de água em 2 minutos de exposição; m = 1000 g, massa da água em gramas; e t = 120 s, tempo de exposição da água ao microondas.

As amostras irradiadas e não irradiadas foram submetidas à extração com 50 mL de sulfato de potássio - K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) por 30 minutos, em agitador rotatório circular, deixadas decantar e filtradas em papel tipo faixa azul defiltração lenta.

A determinação do carbono da biomassa microbiana — Cmic - nos extratos irradiados e não irradiados foi realizada utilizando 10 mL do extrato, oriundo dos 50 mL após filtração, e adicionando em seguida 2 mL de circomato de potássio K₂Cr₂O₇ (0,066 mol L⁻¹), 10 mL de ácido sulfúrico H₂SO₄ concentrado e 5 mL de ácido fosfórico H₃PO₄ concentrado. Após o resfriamento foi adicionada 50 mL de água destilada. A titulação ocorreu com a utilização do sulfato ferroso amoniacal (0,04 mol L⁻¹) com fenilalanina como indicador.

O C extraído do solo foi calculado pela equação:

$$C (mg Kg^{-1}) = \frac{((Vb - Va) * N * 1000 * Vextrator)}{(volume do extrato * MSS)}$$

Onde, C refere-se ao carbono extraído do solo; V_b é o volume (mL) do (NH₄)₂ Fe(SO₄)₂ gasto na titulação do branco; V_a é o volume (mL) do (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ gasto na titulação da amostra; N é a normalidade exata do (NH₄)₂Fe(SO₄)₂, N = 0,677; V_{extrator} é o volume de K₂SO₄ utilizado na extração = 50 mL; V_{extrato} é o Volume de K₂SO₄ utilizado para análise = 10 mL; e MSS é a massa do solo seco em gramas = 50 g.

O Cmic é calculado pela equação:

$$Cmic (mg Kg^{-1}) = \frac{(C_{I} - C_{NI})}{K_{ec}}$$

Onde, C_I refere-se ao carbono extraído do solo irradiado; C_{NI} ao carbono extraído do solo não irradiado; K_{ec} é a proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (Frighetto, 2000).

O fator de correção K_{ec} citados na literatura é variável (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor que foi utilizado. Neste trabalho foi adotado o valor de 0,21 (Frighetto, 2000).

O nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Joergensen e Brookes (1990). Para proceder esta análise foi utilizado o mesmo extrato do C_{mic}, a partir de 0,6 mL do extrato adicionado a um tubo de ensaio. Junto ao extrato foi adicionado 1,4 mL de ácido cítrico (0,2 mol L⁻¹) a pH 5,0 e 1 mL do reagente ninidrina. Os tubos foram incubados à 100 °C, em banhomaria, por 25 minutos. Após esfriamento, foram adicionados 4 mL da mistura etanol:água (1:1), para posterior leitura no espectrofotômetro a 570 nm.

Figura 37 - Filtragem da solução do solo



Fonte: O autor.

Figura 38 - Análise de Carbono da Biomassa Microbiana



Fonte: O autor.



Figura 39 - Análise de Nitrogênio da Biomassa Microbiana

Fonte: O autor.

10.7.3 Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico é a razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração do solo pelo C na biomassa microbiana, expresso em mg C-CO₂ g⁻¹ BMS – C h⁻¹ (Anderson; Domsch, 1993).

10.7.4 Atividade da enzima desidrogenase

A atividade da enzima desidrogenase, estimada segundo Van Os e Ginkel (2001), foram realizadas em triplicatas, a partir de 5 g de solo de cada amostra acondicionadas em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados 2 mL da solução T.T.C a 1%, juntamente com 1 mL de glicose a 0,1%. Na amostra "branco" foram adicionadas 1 mL de glicose a 0,1% e 2 mL da solução tampão tris a 0,1 M (pH = 7,6). As amostras foram misturadas em agitador tipo VORTEX e incubadas em tubo de ensaio a 30 °C por 18 h. Após a incubação, foram adicionados 9 mL de metanol em todas as amostras, e logo em seguida filtradas para a realização da leitura no espectrofotômetro em 530 nm. Os resultados foram ajustados em curva padrão e expressos na forma de concentração de TTF - formazan (ug.g¹).



Figura 40 – Análise da atividade da enzima desidrogenase

Fonte: O autor.

10.7.5 Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína - FDA

A atividade hidrolítica do FDA foi estimada segundo Swisher e Carroll (1980). Amostras de 5 g de solo foram transferidas para erlenmeyer (125 mL) juntamente com 20 mL de tampão fosfato de potássio pH 7,6 e 0,2 mL de solução estoque de FDA (2 mg mL⁻¹ acetona). A reação foi interrompida pela adição de 20 mL de acetona. Após incubação a 25°C por 20 minutos sob agitação (150 rpm), as suspensões de solo foram filtradas e a leitura realizada em espectrofotômetro a 490 nm.



Figura 41 – Filtragem da solução para análise hidrolítica do FDA

Fonte: O autor.

11 ANÁLISE GERAL DOS DADOS

Para cada atributo estudado foi realizada análise descritiva auxiliada pela estatística clássica (máximo, mínimo, média, desvio padrão), após verificação da normalidade (SHAPIRO - WILK) e homocedasticidade (LEVENE) dos dados, utilizando-se o software R (R Development Core Team, 2006).

11.1 Associação dos Pontos de Coleta à Árvore Mais Próxima e teste de Kruskal-Wallis

Como o impacto das árvores nas propriedades da serrapilheira pode ser influenciado pela proximidade, o primeiro passo foi associar cada ponto de coleta da serrapilheira à árvore mais próxima. Isso foi feito calculando as distâncias euclidianas entre cada ponto de coleta da serrapilheira e todas as árvores na base de dados florística. A árvore com a menor distância foi então associada a cada ponto de coleta. No Software R, isso pode ser alcançado utilizando a função dist do pacote base para calcular matrizes de distância.

O teste de Kruskal-Wallis é uma extensão não paramétrica da ANOVA e é utilizado para comparar as medianas de dois ou mais grupos independentes. Dada a falta de normalidade observada anteriormente em algumas variáveis, o teste de Kruskal-Wallis oferece uma alternativa robusta para identificar diferenças significativas entre as medianas dos grupos (Hollander; Wolfe; Chicken, 2013). Esse teste foi utilizado para verificar se existiam diferenças significativas nas propriedades da serrapilheira entre os diferentes grupos: nome popular das árvores, família botânica e categorias de CAP (Circunferência à altura do peito). No Software R, o teste de Kruskal-Wallis pode ser realizado usando a função kruskal.test do pacote base.

Para garantir a robustez dos testes estatísticos, optou-se por considerar apenas os grupos que apresentavam uma contagem mínima de dois pontos de coleta associados. Esta decisão foi tomada para assegurar que os resultados não fossem influenciados por categorias com uma amostragem muito pequena, o que poderia comprometer a confiabilidade dos testes.

A circunferência à altura do peito (CAP) foi categorizada em três grupos: "Pequeno", "Médio" e "Grande". Estas categorias foram definidas com base em

intervalos de circunferência, facilitando a análise das propriedades da serrapilheira em relação ao tamanho das árvores.

O teste de Kruskal-Wallis foi escolhido por ser uma alternativa não paramétrica à ANOVA, adequada para situações em que as suposições de normalidade e homocedasticidade não são atendidas. A decisão de associar os pontos de coleta da serrapilheira à árvore mais próxima foi tomada com base na ideia de que a proximidade de uma árvore pode influenciar mais diretamente as propriedades da serrapilheira do que árvores mais distantes. A filtragem dos dados e a categorização da CAP foram feitas para garantir relevância nos resultados.

As análises gráficas foram conduzidas utilizando o ambiente de programação R, aproveitando-se dos recursos dos pacotes ggplot2 para a geração de gráficos e dplyr para a manipulação dos conjuntos de dados. Inicialmente, os dados foram importados no R e submetidos a um processo de limpeza e verificação para assegurar a ausência de valores ausentes ou atípicos. Após essa etapa preliminar, os dados foram estrategicamente agrupados conforme as categorias de interesse, nomeadamente nome popular da árvore, família botânica e a circunferência à altura do peito (CAP).

Para visualizar as distribuições das variáveis em relação às categorias mencionadas, empregamos boxplots, facilitando a identificação da mediana, quartis e possíveis outliers para cada grupo. Em todos os gráficos, um cuidado especial foi tomado com a legibilidade dos rótulos do eixo x, ajustando-os quando necessário para evitar sobreposições, especialmente nos gráficos que envolviam a família botânica.

As visualizações gráficas desempenharam um papel crucial na identificação de tendências e padrões nos dados. Essas observações visuais, complementadas por testes estatísticos apropriados, forneceram insights sobre as relações entre as variáveis e as categorias de interesse, permitindo conclusões mais fundamentadas sobre o impacto de diferentes espécies e tamanhos de árvores nas propriedades da serrapilheira e do solo.

11.2 Ranking das Variáveis Significativas

A determinação do impacto das diferentes espécies de árvores, famílias botânicas e tamanhos de árvores nas propriedades da serrapilheira e do solo foi realizada por meio da classificação baseada nas medianas das variáveis

significativas. Inicialmente, as medianas de cada variável foram calculadas para cada categoria (espécie, família botânica e tamanho de árvore). Posteriormente, essas medianas foram classificadas em ordem decrescente, atribuindo-se o rank 1 para a maior mediana e assim por diante.

Os resultados do ranking foram visualizados através de heatmaps, gráficos de calor que representam a magnitude das medianas em uma escala de cores. Os heatmaps foram gerados utilizando a biblioteca Seaborn, uma ferramenta de visualização de dados baseada em Python amplamente usada na análise de dados (Waskom, 2021).

11.3 Análise de Cluster K-means

Para a segmentação das espécies com base nas propriedades químicas do solo, empregou-se a técnica de análise de cluster K-means, amplamente reconhecida por sua eficácia em categorizar dados em grupos homogêneos com base em características semelhantes (Jain, 2010). Esta análise foi conduzida utilizando o software R.

Inicialmente, as variáveis significativas do solo – Carbono Orgânico do Solo (10 – 20 cm) COS10_20, Estoque de Carbono Orgânico (10- 20 cm) ECS10_20 e Magnésio da Serrapilheira MGS - foram padronizadas para ter média zero e desvio padrão unitário, a fim de evitar que variáveis com escalas diferentes distorcessem os resultados da clusterização (Everitt *et al.*, 2011). Esta padronização foi realizada utilizando a função scale() disponível no R.

O número ótimo de clusters foi determinado usando o método do cotovelo, uma técnica que avalia a variação total dentro dos clusters em relação ao número de clusters (Kodinariya; Makwana, 2013). Para isso, foi utilizado o pacote factoextra no R, que fornece ferramentas para visualizar os resultados do K-means e determinar o número adequado de clusters.

Com o número ideal de clusters identificado, a análise K-means foi realizada usando a função kmeans() no R. Esta função aplica o algoritmo K-means para particionar os dados em clusters baseados em seus valores.

12 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a etapa de levantamento arbóreo, foram contabilizados 224 indivíduos com DAP maior que 5 cm a 1,30 metros de altura, dos quais foram identificadas 34 espécies arbóreas pertencentes à 17 Famílias. A família Fabaceae foi a mais representativa com um total de 108 indivíduos divididos em 11 espécies, seguida pela Myrtaceae com 27 indivíduos de uma única espécie e a Bignoniaceae com 19 indivíduos de 3 espécies. Como mostrado na Tabela 1.

Na Família Fabaceae, as espécies que mais representaram esse grupo no sistema foram *Inga laurina* com 28 indivíduos, *Peltophorum dubium* com 20 indivíduos e *Gliricidia sepium* com 14 indivíduos. A Família Myrtaceae foi representada exclusivamente pela espécie *Syzygium cumini* e na Família Bignoniaceae a espécie que mais se destacou foi *Zeyheria tuberculosa* com 16 indivíduos.

Inga laurina, Peltophorum dubium e Syzygium cumini foram as espécies com o maior número de indivíduos nesse sistema estudado, uma vez que essas espécies foram e são comumente utilizadas em projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradas na região do Pontal do Paranapanema por apresentarem rápido crescimento primário e boa adaptação à fitofisionomia da região, caracterizada pela formação florestal da Mata Atlântica como Floresta Estacional Semidecidual (Rodrigues; Galvão, 2006).

As espécies foram anotadas de acordo com a sequência das fileiras no SAF e classificadas com seus respectivos pontos de GPS e o CAP (Circunferência a altura do peito) apresentado no **ANEXO I**.

A seguir é apresentado uma tabela com a síntese do levantamento contendo as famílias botânicas identificadas com suas quantidades de espécies e quantidades de indivíduos total por família.

Tabela 8 – Quantidade de espécies e indivíduos por Família no SAF

Família	Quantidade de Espécies	Quantidade de Indivíduos
Anacardiaceae	2	13
Annonaceae	2	8
Araucariaceae	1	2
Arecaceae	2	2
Bignoniaceae	3	19
Boraginaceae	1	10
Caryocaraceae	1	1
Chrysobalanaceae	1	3
Euphorbiaceae	1	18
Fabaceae	11	108
Malvaceae. L.	3	4
Meliaceae	1	2
Moraceae	1	1
Myrtaceae	1	27
Rutaceae	1	1
Salicaceae	1	2
Urticaceae	1	3

Fonte: O autor.

A Tabela 9 representa os resultados obtidos das análises químicas da serrapilheira coletada e seu respectivo peso seco. Obtendo um peso seco médio de 356,98 g/m², correspondente à 14.279,2 Kg/ha.

O SAF do presente trabalho está localizado em uma área de transição do bioma Mata Atlântica com o Bioma Cerrado, com sua fitofisionomia caracterizada pela Floresta Estacional Semidecidual (Rodrigues; Galvão, 2006). Um estudo realizado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado no município de Espirito Santo publicado em 2022, mostrou um acúmulo anual médio de 5.269 kg ha-1 de serrapilheira depositada (Gomes Júnior *et al.*, 2022). Essa diferença em acúmulo de serrapilheira pode estar relacionada à diversos fatores, como o clima, a taxa de decomposição da serrapilheira por microrganismos, as espécies florestais e consequentemente o estágio sucessional que se encontra o ambiente estudado, uma vez que ambientes mais equilibrados apresentam maiores valores material depositado (Pinto *et al.*, 2009). Martins *et al.* (2021), encontraram acúmulo médio de 8.300 kg ha -1 em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no bioma Cerrado.

Em comparação com sistemas florestais naturais, o SAF avaliado neste trabalho proporcionou maior acúmulo médio de serrapilheira. Os valores mais próximos a esse trabalho foram encontrados em um estudo de um SAF com dez anos de implantação para recuperação de área degradada no município de Viçosa – MG, que proporcionou um acúmulo estimado de 10.165,13 kg ha -1 (Arato; Martins; Ferrari, 2003). E em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual do município de Araras – SP com 11.590 kg ha-1 (Diniz; Pagano, 1997).

Em ordem decrescente os valores médios dos elementos químicos encontrados na serrapilheira seguiram a seguinte ordem: Ca (19,26) > N (13,32) > Mg (3,61) > K (2,52) > S (1,35) > P (0,63), como apresentado na Tabela 9.

Gomes Júnior *et al.* (2022) encontraram a mesma ordem decrescente estudando a serrapilheira de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, assim como Caldeira *et al.* (2019) estudando a serrapilheira de uma Floresta Ombrófila Densa de Várzea no município de Espírito Santo, diferindo de Godinho *et al.* (2014) que encontraram a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > S > P.

Os tecidos vegetais possuem naturalmente grandes quantidades de Ca e N, o que ocasionou nas maiores concentrações desses elementos na serrapilheira, uma característica do Ca é a sua liberação mais lenta no processo de decomposição, isso é devido à sua natureza como parte do tecido vegetal propriamente dita (Godinho *et al.*, 2014) uma vez que, o maior teor de Ca nos resíduos vegetais deve-se à sua imobilidade no tecido e pela função como estruturador de parede celular, presente na formação de pectados de Ca na lamela média. Neste contexto, durante o processo de decomposição microbiológica sua disponibilização é mais lenta comparado ao N.

Tabela 9 - Teores determinados da serrapilheira

Descrição	Peso Seco	M.O	С	Ν	C/N	Р	S	K	Ca	Mg
-	g/m²				g	kg ⁻¹				_
Máximo	649,32	1000	556,10	16,90	64,90	0,79	1,50	4,40	31,20	7,20
Média	356,98	995,73	553,18	13,32	42,20	0,63	1,35	2,52	19,26	3,61
Mínimo	83,51	977,30	542,90	8,50	32,70	0,51	1,20	1,30	10,90	2,00
Desvio Padrão	131,29	3,79	2,11	1,66	5,76	0,06	0,08	0,77	4,31	0,92

Legenda: Matéria Orgânica (M.O), Carbono Total (C), Nitrogênio Total (N), Relação Carbono & Nitrogênio (C/N), Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).

Na Tabela 10 pode-se observar uma queda dos elementos químicos do solo na segunda profundidade, com exceção do S (S-SO₄²⁺), Hidrogênio mais Alumínio

(H+AI), Magnésio (Mg) e o pH. A quantidade de alumínio teve um aumento da segunda profundidade influenciando no aumento de sua Saturação por Alumínio (m%).

Tabela 10 – Resultados parâmetros químicos de fertilidade do solo

Resultados Químicos													
0 10 200	рН	M.O	Р	S-SO ₄ ²⁻	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	m	V
0 - 10 cm	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg	ı dm ⁻³)				(mmol _c o	dm ⁻³)			(%	%)
Máximo	5,80	32,90	76,30	6,70	2,80	27,40	3,70	65,40	13,20	75,20	89,50	43,90	84,00
Média	4,33	19,14	16,26	2,71	1,50	19,79	1,81	10,22	4,17	16,22	36,01	12,86	40,39
Mínimo	3,50	13,60	4,80	0,10	0,00	11,10	0,30	0,60	0,70	3,30	20,80	0,00	14,00
Desvio Padrão	0,55	3,98	16,90	1,45	0,79	2,87	0,41	10,63	2,85	12,66	12,99	10,13	15,43
10 - 20 cm													
Máximo	5,20	22,20	27,40	6,60	4,60	29,80	2,00	17,40	9,00	27,30	48,60	47,80	65,60
Média	4,25	15,46	7,22	2,57	1,98	20,39	0,79	6,88	3,64	11,30	31,70	17,68	34,60
Mínimo	3,60	11,80	3,30	0,10	0,00	12,90	0,10	1,90	0,90	3,50	22,40	0,00	15,10
Desvio Padrão	0,38	2,24	5,12	1,28	0,99	3,50	0,38	3,25	2,02	5,16	5,43	11,08	11,45

Legenda: pH: potencial hidrogeniônico; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; S-SO42-: Teor de sulfato; H+Al: Acidez potencial; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por Bases.

O Carbono Orgânico Total (COT) se manteve alto na profundidade 0 – 10 cm, assim como as demais frações físicas (Carbono Orgânico Particulado e Carbono Orgânico Associado aos Minerais) – Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados parâmetros das frações de carbono no solo

Resultados Carbono				
0 - 10 cm -	COT	COP	COAM	Est C
0 - 10 CIII		g Kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹
Máximo	13,02	10,77	7,37	18,83
Média	6,70	3,03	3,67	9,71
Mínimo	3,26	0,90	0,24	4,59
Desvio Padrão	2,15	1,85	1,79	3,12
10 - 20 cm				
Máximo	10,02	5,27	6,36	15,31
Média	4,10	1,33	2,76	6,22
Mínimo	1,67	0,01	0,09	2,34
Desvio Padrão	1,51	0,91	1,22	2,33

Legenda: Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico da fração particulada (COP), Carbono Orgânico associado à fração mineral (COAM) e Estoque de Carbono Orgânico (Est C).

Nas análises granulométricas, a quantidade de Areia Total se manteve com maiores teores na superfície, decaindo em profundidade, em contrapartida aos teores de Silte e Argila.

Tabela 12 – Resultados parâmetros físicos do solo

Resultados Físicos			
0 10 am	Areia Total	Silte	Argila
0 - 10 cm		(g kg ⁻¹)	
Máximo	973,05	61,17	105,50
Média	948,99	10,30	40,71
Mínimo	881,07	0,28	3,50
Desvio Padrão	16,58	8,74	14,33
10 - 20 cm			
Máximo	967,86	104,33	119,5
Média	929,00	17,47	53,53
Mínimo	826,17	0,56	12,50
Desvio Padrão	21,04	15,98	20,91

O fracionamento da fração areia mostrou que o solo do SAF caracterizado como solo arenoso possui em sua composição grande quantidade da fração de areia média (0,50 - 0,210 mm) e areia fina (0,210 - 0,125mm) com teores médios de 495,75 e 462,73 na peneira de 0,250 mm e teores médios de 205,32 e 216,99 na peneira de 0,125 mm, nas profundidades 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, respectivamente.

Tabela 13 – Resultados do fracionamento físico da fração areia do solo

Resultados Fração Areia						
0 - 10 cm	1 mm	0,5 mm	0,250 mm	0,212 mm	0,125 mm	0,053 mm
0 - 10 cm				(g kg ⁻¹)		
Máximo	30,90	67,77	601,23	138,35	292,13	157,14
Média	7,34	35,46	495,75	118,24	205,32	79,14
Mínimo	0,19	11,33	357,09	93,23	128,13	21,80
Desvio Padrão	5,83	12,96	60,85	8,82	39,72	28,29
10 - 20 cm						
Máximo	27,24	70,92	584,04	165,08	287,88	452,32
Média	2,79	33,72	462,73	116,42	216,99	96,27
Mínimo	0,07	10,13	16,39	28,36	152,59	16,58
Desvio Padrão	3,64	12,96	80,62	13,37	38,29	51,53

Os resultados microbiológicos mostraram valores médios de respiração do solo de 13,33 (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹), e quociente metabólico de 9,11 (mg C-CO₂ kg⁻¹ BMS-C h⁻¹), valores próximos foram encontrados em um SAF com 7 anos de instalação composto por 47 espécies e espécie de adubação verde (feijão-guandu – *Cajanus cajan* L.) no município de Amambai – MS (Pezarico *et al.*, 2013).

Tabela 14 – Resultados microbiológicos do solo

Resultados Microbiológicos						
0 - 10 cm	C-CO ₂	qCO ₂	СВМ	NBM	Desidrogenase	FDA
Máximo	19,96	44,47	327,41	18,13	8,31	136,83
Média	13,33	9,11	170,12	4,65	4,69	79,81
Mínimo	2,93	2,05	44,41	0,66	1,80	19,93
Desvio Padrão	4,59	6,67	57,88	3,54	1,67	25,44

Respiração do Solo (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹), *qCO*₂ (mg C-CO₂ kg⁻¹ BMS-C h⁻¹), Carbono da Biomassa Microbiana (mg kg⁻¹), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mg kg⁻¹), Atividade da Enzima Desidrogenase (µg TTF g⁻¹ solo h⁻¹) e Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (µg FDA g⁻¹ solo h⁻¹).

Buscando uma maneira de correlacionar os parâmetros encontrados nas análises de solo, com os resultados das análises de serrapilheira e o levantamento arbóreo, foi abordado uma sucessão de análise estatística que fosse suficiente para compreender a dinâmica de interações solo-planta no SAF estudado. Sendo assim foi feito uma comunicação com os dados levantados entre os pontos georreferenciados tanto dos parâmetros do solo e serrapilheira aos pontos georreferenciados da localização das árvores e através dessa associação encontrou-se alguns padrões de comportamento.

Tabela 15 - Teste de Kruskal-Wallis para as variáveis da serrapilheira em relação ao nome popular, família botânica e circunferência à altura do peito (CAP).

Variávaia	Nome Popular	Família	CAP
Variáveis 	Valor-p	Valor-p	Valor-p
CAS	0,360	0,387	0,494
CMS0_10	0,648	0,319	0,346
CMS10_20	0,206	0,158	0,279
CNS	0,169	0,056	0,183
COPS0_10	0,133	0,114	0,331
COPS10_20	0,139	0,109	0,294
COS0_10	0,149	0,077	0,020*
COS10_20	0,012*	0,012*	0,042*
CTS	0,395	0,506	0,757
ECS0_10	0,242	0,145	0,025*
ECS10_20	0,008*	0,017*	0,064
KS	0,388	0,312	0,942
MGS	0,031*	0,044*	0,148
MOS	0,411	0,486	0,755
NS	0,164	0,056	0,177
NTS	0,266	0,066	0,092
PS	0,497	0,370	0,951
PSm2	0,078	0,382	0,137
SS	0,585	0,780	0,144

^{*}valores abaixo de 0,05 foram considerados estatisticamente significativos.

CAS= Cálcio da serrapilheira (g kg-¹); CMS0_10= Carbono mineral do solo (0-10 cm); CMS10_20= Carbono mineral do solo (10-20 cm); CNS= Relação C/N da serrapilheira; COPS0_10= Carbono orgânico particulado do solo (0-10 cm); COPS10_20= Carbono orgânico particulado do solo (10-20 cm); COS0_10= Carbono orgânico do solo (0-10 cm); COS10_20= Carbono orgânico do solo (10-20 cm); CTS= Carbono total da serrapilheira (g kg-¹);

ECS0_10= Estoque de carbono do solo (0-10 cm); ECS10_20= Estoque de carbono do solo (10-20 cm); KS= Potássio da serrapilheira (g kg-¹); MGS= Magnésio da serrapilheira (g kg-¹); MOS= Matéria orgânica da serrapilheira (g kg-¹); NS= Nitrogênio da serrapilheira (g kg-¹); NS= Nitrogênio total da serrapilheira (g kg-¹); PS= Fósforo da serrapilheira (g kg-¹); PSm2= Peso da serrapilheira (g/m²); SS= Enxofre da serrapilheira (g kg-¹);

Os resultados deste estudo indicam diferenças significativas em algumas propriedades da serrapilheira e do solo associadas a características específicas das árvores em um sistema agroflorestal. Especificamente, as variáveis COS10_20 (Carbono orgânico do solo de 10-20 cm), ECS10_20 (Estoque de carbono do solo de 10-20 cm) e MGS (Magnésio da serrapilheira) mostraram diferenças notáveis quando agrupadas tanto pelo nome popular quanto pela família botânica da árvore. Além disso, COS0_10 (Carbono orgânico do solo de 0-10 cm) e ECS0_10 (Estoque de carbono do solo de 0-10 cm) apresentaram diferenças significativas quando agrupadas por categorias de CAP.

A presença de carbono orgânico no solo (COS) em diferentes profundidades é essencial para a saúde e qualidade do solo, bem como para a regulação climática, pois atua como um importante sumidouro de carbono (Lal, 2004). Nosso estudo revela (Tabela 15) que a quantidade de COS nas camadas de 10-20 cm varia significativamente entre diferentes espécies e famílias botânicas, sugerindo que algumas árvores podem ser mais eficazes em enriquecer o solo com carbono orgânico nessa profundidade. Estudos anteriores também têm destacado a importância da vegetação e da biodiversidade na regulação do carbono do solo (Post; Kwon, 2000; Prasad *et al.*, 2023; Behera; Mondal; Rout, 2022).

O estoque de carbono do solo (ECS) é outro indicador crucial da qualidade do solo e da capacidade de sequestro de carbono. Assim como o COS, nosso estudo mostrou que o ECS varia entre diferentes categorias de árvores, tanto em profundidade de 0-10 cm quanto de 10-20 cm (Tabela 15). Isso reforça a ideia de que a seleção de espécies de árvores em sistemas agroflorestais pode influenciar diretamente a capacidade do solo de armazenar carbono (Chambers; Lal; Paustian, 2016; Kumar *et al.*, 2022).

O magnésio (MGS) na serrapilheira é um indicador de nutrição vegetal, e sua presença em quantidades adequadas é vital para a fotossíntese e o metabolismo das

plantas (Cakmak; Yazici, 2010). A variabilidade no conteúdo de MGS entre diferentes espécies e famílias botânicas destaca a importância da biodiversidade em fornecer um equilíbrio nutricional adequado no solo (López-Cruz *et al.*, 2022).

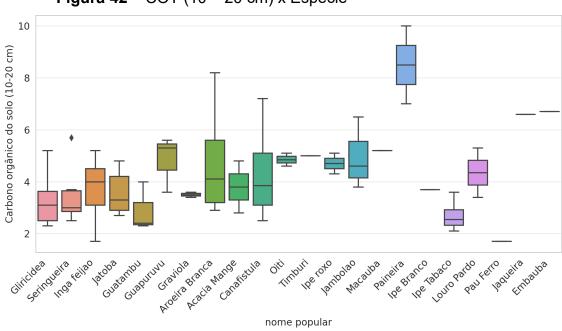
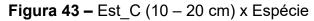
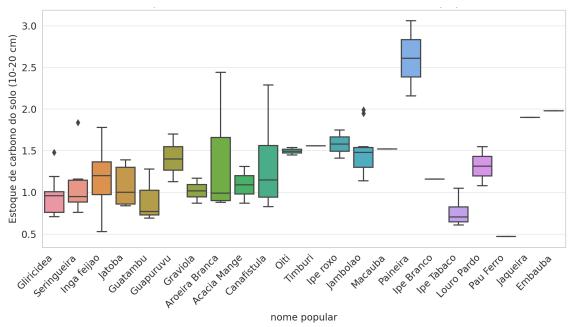


Figura 42 - COT (10 - 20 cm) x Espécie





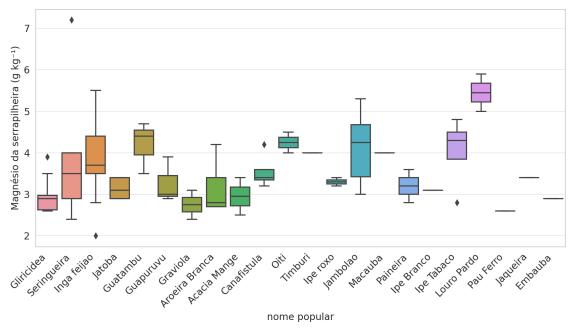


Figura 44 – Mg - Serrapilheira (g Kg⁻¹) x Espécie

Nos gráficos relacionados ao nome popular das espécies, observamos diferenças significativas em algumas propriedades da serrapilheira e do solo entre as espécies. A "Paineira" (*Ceiba speciosa*) se destaca em relação ao carbono orgânico do solo (10-20 cm) e ao estoque de carbono do solo (10-20 cm), possuindo valores mais altos em comparação com a maioria das outras espécies. Estudos anteriores, como os de Oliveira e Joly (2010), também destacaram a influência de determinadas espécies arbóreas na melhoria da qualidade do solo e no sequestro de carbono em sistemas agroflorestais. Por outro lado, o "Louro Pardo" (*Cordia trichotoma*) apresentou um valor notável de magnésio da serrapilheira (g kg⁻¹), o que pode indicar uma contribuição diferenciada dessa espécie à nutrição do solo.

Pesquisas recentes também têm enfatizado a influência de diferentes espécies de árvores e práticas de manejo no carbono orgânico do solo e na nutrição do solo em sistemas agroflorestais. Por exemplo, Amorim *et al.* (2022) observaram que a aplicação de "cama de frango" em um local de agrofloresta de 17 anos em Fayetteville - AR, influenciou significativamente o pH do solo, o carbono orgânico e outros nutrientes, com variações notáveis entre diferentes espécies de árvores. Kumar *et al.* (2022) também destacaram a influência de diferentes espécies de árvores e sistemas de cultivo na taxa de sequestro de carbono no solo em Uttar Pradesh, Índia. Além disso, Sinha e Sharma (2021), em seu estudo sobre o potencial de sequestro de carbono de espécies de árvores silviculturais e hortícolas, enfatizaram a eficiência de diferentes espécies de árvores em sistemas de cultivo múltiplos.

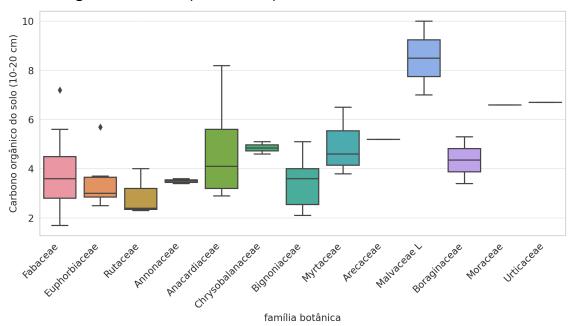
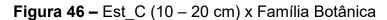
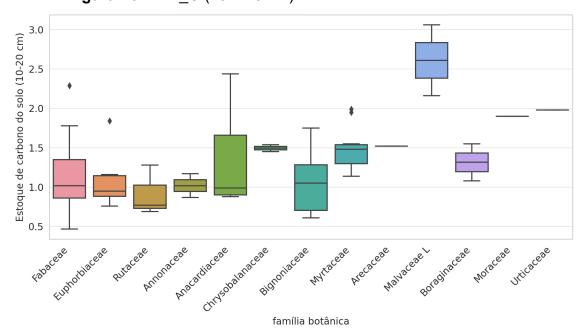


Figura 45 - COT (10 - 20 cm) x Família Botânica





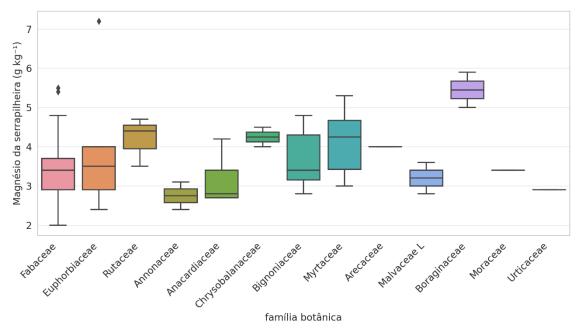


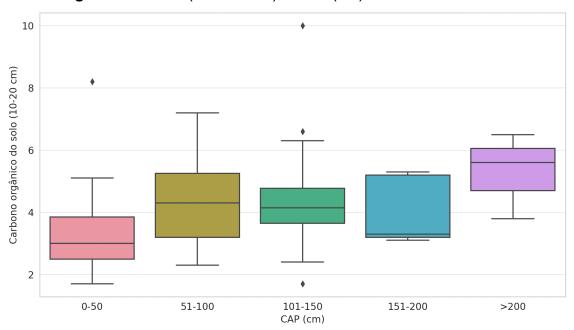
Figura 47 - Mg - Serrapilheira (g Kg⁻¹) x Família Botânica

Ao agrupar os dados pela família botânica, observamos tendências semelhantes às observadas para o nome popular. Isso é esperado, uma vez que espécies da mesma família geralmente compartilham características semelhantes. Algumas famílias mostraram valores mais elevados ou mais baixos em certas variáveis, indicando a possibilidade de uma influência genética na contribuição dessas plantas para a qualidade do solo e a composição da serrapilheira. Isso está em linha com os estudos de Silva et al. (2015), que discutiram a relação entre a família botânica e a qualidade do solo em sistemas agroflorestais.

Figura 48 - COT (0 - 10 cm) x CAP (cm)

Carbono orgânico do solo (0-10 cm) vs. CAP (cm)

Figura 49 - COT (10 - 20 cm) x CAP (cm)



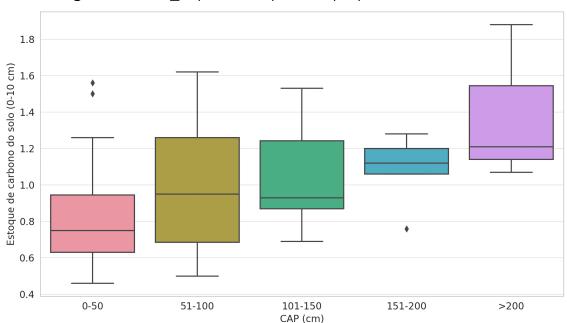
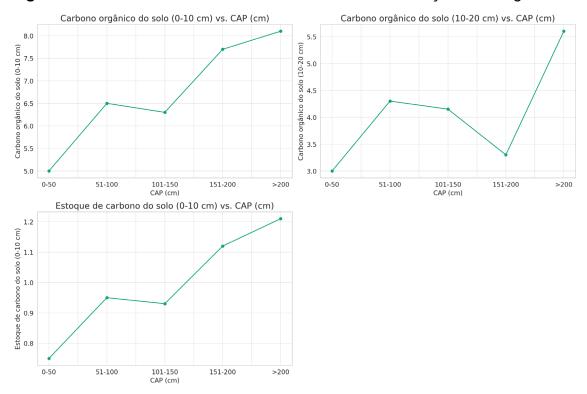


Figura 50 – Est_C $(0 - 10 \text{ cm}) \times \text{CAP (cm)}$

Figura 51 - Tendência das medianas das variáveis em relação às categorias de CAP



Quando analisamos as propriedades da serrapilheira e do solo em relação às categorias da circunferência à altura do peito (CAP), observamos uma tendência crescente para o carbono orgânico do solo (tanto para 0-10 cm quanto para 10-20 cm) e o estoque de carbono do solo (0-10 cm) à medida que o CAP aumenta. Essa observação sugere que árvores maiores ou mais antigas têm um papel mais

significativo na melhoria da qualidade do solo e no sequestro de carbono em sistemas agroflorestais. De acordo com Sharma, Singh e Agrawal (2019), árvores maiores têm sistemas radiculares mais extensos, o que pode contribuir para a incorporação de mais matéria orgânica no solo. Além disso, árvores mais antigas têm uma maior capacidade de capturar e armazenar carbono ao longo do tempo (Gupta; Rajan; Kumar, 2021). Isso está em consonância com estudos como o de Stephenson *et al.* (2014), que mostraram que árvores mais antigas tendem a acumular mais carbono.

Em suma, nossos resultados indicam que, em sistemas agroflorestais, a escolha das espécies e a idade ou tamanho das árvores podem influenciar significativamente a qualidade do solo e a composição da serrapilheira. Como observado por Fernandes e Nair (2020), a gestão de sistemas agroflorestais requer uma compreensão profunda das interações planta-solo para otimizar os benefícios ecológicos e produtivos. Portanto, para a gestão eficaz desses sistemas e a maximização dos benefícios ambientais, é crucial considerar esses fatores.

Figura 52 - Ranking das espécies com base nas medianas das variáveis significativas para Espécies (Nome Popular)

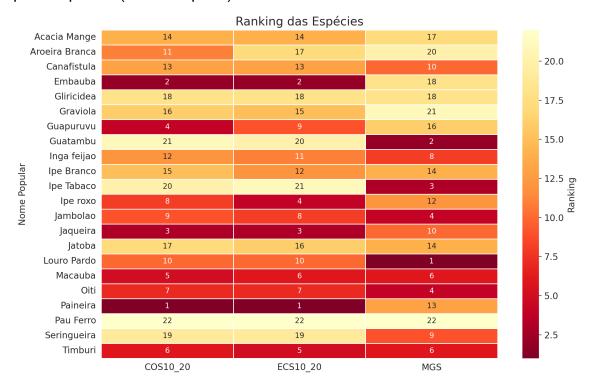


Figura 53 - Ranking das famílias botânicas com base nas medianas das variáveis significativas para Famílias Botânicas.

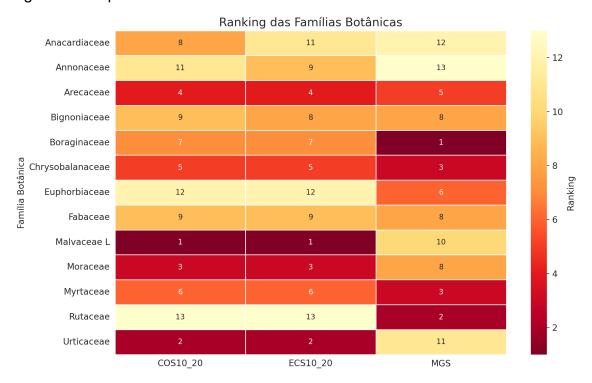
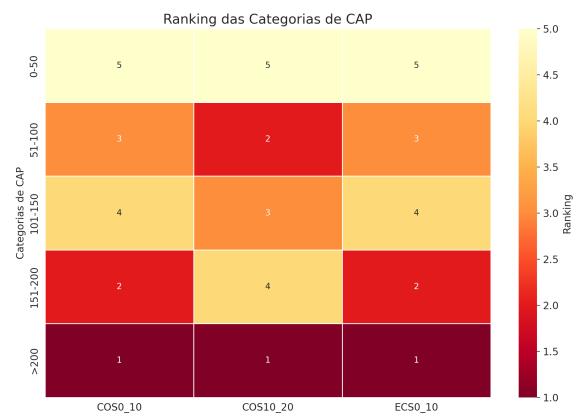


Figura 54 - Ranking das categorias da circunferência à altura do peito (CAP) com base nas medianas das variáveis significativas para as Categorias de CAP (cm)



Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido reconhecidos como sistemas agrícolas sustentáveis devido à sua capacidade de manter e até melhorar a saúde do solo, a biodiversidade e o sequestro de carbono, simultaneamente fornecendo benefícios econômicos para os agricultores (Nair, 2012). Esta afirmação é corroborada por McCauley e Barlow (2023), que destacam a relação positiva entre a diversidade de plantas e o sequestro de carbono em práticas agrícolas regenerativas, incluindo agroflorestais. A presente análise revelou diferenças significativas nas propriedades do solo e da serrapilheira entre diferentes espécies de árvores, famílias botânicas e tamanhos de árvores em um sistema agroflorestal.

A espécie *Ceiba speciosa* foi identificada como a mais influente no acúmulo de carbono orgânico nas camadas de solo de 10-20 cm (COS10_20) e no estoque de carbono (ECS10_20). Esta descoberta é relevante considerando o papel vital do carbono do solo na regulação do ciclo global do carbono e sua influência direta na mitigação das mudanças climáticas (Lal, 2004). Além disso, a capacidade de uma árvore em particular, *Ceiba speciosa*, de influenciar positivamente o acúmulo de carbono pode ser atribuída à sua fenologia, padrões de queda de folhas e qualidade da serrapilheira, que subsequentemente afeta a taxa de decomposição e incorporação de carbono no solo.

Por outro lado, *Cordia trichotoma* se destacou em relação ao conteúdo de magnésio da serrapilheira (MGS). O magnésio desempenha um papel crucial na fotossíntese, sendo um componente central da clorofila, e sua presença adequada é vital para a saúde das plantas (Cakmak; Yazici, 2010). A abundância deste elemento na serrapilheira sob *Cordia trichotoma* sugere que esta espécie pode ter um papel significativo na ciclagem de magnésio no SAF.

Ao analisar as famílias botânicas, a Malvaceae L se destacou em termos de COS10_20 e ECS10_20, enquanto a Boraginaceae foi a principal em relação ao MGS. Estas descobertas reforçam a ideia de que, além das espécies individuais, a diversidade taxonômica em nível de família pode influenciar as propriedades do solo e da serrapilheira em SAFs. Gupta (2020) também enfatizou o papel dos SAFs na conservação do solo e na gestão da saúde do solo, destacando sua superioridade sobre a cultura pura do ponto de vista da gestão de nutrientes.

Quando observamos as categorias de CAP, as árvores classificadas como Muito Grande apresentaram maior acúmulo de COS nas camadas de 0-10 cm e 10-

20 cm. Esta relação positiva entre o tamanho da árvore e o acúmulo de carbono no solo é corroborada por estudos anteriores, onde árvores maiores, devido à sua maior biomassa aérea, contribuem com mais detritos orgânicos para o solo (Chave *et al.*, 2009).

Em suma, os resultados enfatizam a importância da seleção de espécies e da diversidade taxonômica em sistemas agroflorestais para otimizar a saúde do solo, o sequestro de carbono e a ciclagem de nutrientes. Estas descobertas têm implicações práticas para a gestão de SAFs, onde a incorporação de espécies específicas pode ser uma estratégia valiosa para alcançar objetivos ecológicos e agronômicos.

Tabela 16 - Resumo dos Clusters de Espécies com Base em Variáveis Significativas

N° do Cluster	Descrição das Espécies	Resultados com Base nas Variáveis Significativas
0	Gliricidea (Fabaceae), Graviola (Annonaceae), Guatambu (Rutaceae), Ipê- Branco (Bignoniaceae), Ipe Tabaco (Bignoniaceae), Jatoba (Fabaceae), Pau Ferro (Fabaceae), Seringueira (Euphorbiaceae)	COS10_20: 3.17g/cm³ ECS10_20:0.95 g/cm³ MGS: 3.29 g/kg
1	Aroeira Branca (Anarcadiaceae), Canafistula (Fabaceae), Guapuruvu (Fabaceae), Inga feijao (Fabaceae), Ipe roxo (Bignoniaceae), Jambolao (Myrtaceae), Louro Pardo (Boraginaceae), Macauba (Arecaceae), Oiti (Chrysobalanaceae), Timburi (Fabaceae)	COS10_20: 4.67g/cm ³ ECS10_20: 1.43g/cm ³ MGS:3.90g/kg
2	Embaúba (Urticaceae), Jaqueira (Moraceae), Paineira (Malvaceae)	COS10_20:7.27g/cm³ ECS10_20:2.16g/cm³ MGS: 3.17g/kg

A segmentação das espécies em diferentes clusters, com base nas variáveis significativas do solo, revela uma diversidade notável nas propriedades químicas do solo associadas a diferentes espécies em sistemas agroflorestais. Esta diversidade é uma evidência da complexa interação entre as árvores e o solo em sistemas policulturais, onde diferentes espécies de árvores contribuem de maneira única para as propriedades do solo.

O Cluster 0 é composto por espécies como Gliricidea (*Gliricidia sepium*), Graviola (*Annona muricata*) e Ipê-Branco (*Tabebuia roseoalba*), entre outras. Este cluster é caracterizado por ter, em média, valores mais baixos de COS10_20 e ECS10_20, indicando um menor teor de carbono orgânico e estoque de carbono no solo para a profundidade de 10 a 20 cm, em comparação com os outros clusters. A presença de espécies de diferentes famílias botânicas, como Euphorbiaceae, Fabaceae e Annonaceae, sugere que a associação entre características do solo e espécies é mais influenciada por características intrínsecas da espécie do que por sua filiação taxonômica (Lal, 2004).

O Cluster 1 apresenta uma maior concentração de carbono orgânico (COS10_20) e estoque de carbono (ECS10_20) em comparação com o Cluster 0, mas ainda menor do que o Cluster 2. Espécies como Aroeira Branca (*Myracrodruon urundeuva*) e Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) estão presentes neste cluster. A presença de várias espécies da família Fabaceae neste cluster pode indicar uma tendência desta família em contribuir positivamente para o enriquecimento de carbono no solo, uma vez que muitas leguminosas têm a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, influenciando indiretamente o carbono do solo (Fliessbach *et al.*, 2007).

Ao observar os clusters, é evidente, por exemplo, que a família Fabaceae aparece representando uma boa parte dos dois primeiros clusters, sugerindo que as espécies dessa família têm variabilidade em relação às variáveis avaliadas. No entanto, espécies da família Bignoniaceae aparecem principalmente no Cluster 0 e Cluster 1. Essas observações sugerem que, embora a família possa influenciar algumas características, outras características inerentes à espécie também desempenham um papel significativo na determinação dos clusters. Tais resultados corroboram com estudos que demonstram que a família botânica pode não ser o único determinante das interações planta-solo, e que características específicas da espécie também desempenham um papel crucial (Barrios, 2007).

Finalmente, o Cluster 2, que inclui as espécies Embaúba (*Cecropia pachystachya*), Jaqueira (*Artocarpus integrifólia*) e Paineira (*Ceiba speciosa*), destaca-se por ter os valores mais altos de COS10_20 e ECS10_20. Isto sugere que estas espécies podem desempenhar um papel fundamental na promoção do sequestro de carbono e na melhoria da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. Espécies que se destacam em termos de suas contribuições para o carbono do solo, como as do Cluster 2, poderiam ser priorizadas em plantios agroflorestais destinados

a restauração ecológica e serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono (Tilman; Isbell; Cowles, 2017).

Os resultados desta análise ressaltam a importância de considerar a diversidade de espécies em sistemas agroflorestais, não apenas do ponto de vista da biodiversidade, mas também em termos de funções ecossistêmicas, como a melhoria da qualidade do solo. O reconhecimento de que diferentes espécies de árvores têm impactos variados no solo reforça a necessidade de pesquisas adicionais para otimizar o desenho de sistemas agroflorestais, levando em consideração os objetivos ecológicos e produtivos (Brancalion *et al.*, 2018).

13 CONCLUSÃO

A variabilidade nas propriedades do solo associadas a diferentes espécies e famílias botânicas reforça a importância de considerar a biodiversidade em sistemas agroflorestais. A diversidade de espécies pode desempenhar um papel fundamental na promoção de serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono e a restauração da qualidade do solo.

A família Fabaceae e Bignoniacae foram observadas nos dois primeiros clusters gerados pelo K-means, indicando que, enquanto algumas características do solo podem ser influenciadas pela família botânica, outras propriedades são mais intrínsecas às espécies individuais.À medida que há aumento do CAP, o carbono orgânico também tende a aumentar. Isso sugere que árvores mais maduras ou maiores podem influenciar positivamente a qualidade do solo.

Há diferenças significativas no Carbono Orgânico do Solo (10 – 20 cm), Estoque de Carbono (10 – 20 cm) e Magnésio da Serrapilheira, dependendo da espécie arbórea e da família botânica. Especificamente, a espécie Ceiba speciosa (da família Malvaceae) apresentou características distintas em relação ao carbono no solo, enquanto Cordia trichotoma destacou-se em relação ao teor de magnésio.

Apesar de não existir um modelo padrão para instalação de um SAF, a depender de seu objetivo, esse trabalho mostrou que a utilização da espécie *Ceiba speciosa* e *Cecropia pachystachya* pode ser uma boa opção na instalação de um SAF com o objetivo de sequestrar carbono incluindo a escolha de espécies que atinjam grandes dimensões na fase adulta como *Schizolobium parahyba* e *Inga laurina* e que o uso da espécie *Cordia trichotoma* também pode ser uma opção como fonte de nutrientes para o solo, por sua contribuição da serrapilheira rica em Magnésio, elemento essencial para a fotossíntese.

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados encontrados em ambos os capítulos, o SAF estudado está em comum acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) se enquadrando dentro das seguintes ODS:

ODS 1 – Erradicação da Pobreza e ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável: O SAF pode contribuir com a geração de renda e segurança alimentar na comunidade, em uma conversa com o assentado Senhor Francisco, onde o SAF foi instalado, ele relatou que na última geada que ocorreu na região em meados de 2020, em que várias plantações de café tiveram perdas por terem seus "pés de café queimados", no SAF, pela proteção das espécies arbóreas, sua plantação de café não sofreu tais danos;

ODS 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico e ODS 10 – Redução das Desigualdades: Além do plantio de café e algumas espécies frutíferas no SAF do senhor Francisco, o SAF também serve como um banco de sementes de espécies nativas, do qual foi possível a criação de um viveiro de mudas, servindo como outra fonte de renda para a família;

ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima: As espécies arbóreas no SAF proporcionam, como mostram nossos resultados, retenção de carbono no solo, ajudando na mitigação das mudanças climáticas, através de seu sistema radicular e sua serrapilheira, além de outros serviços ambientais como o relatado pelo senhor Francisco, que em cerca de 5 anos após a instalação do SAF e desenvolvimento das espécies arbóreas, uma mina d'água que havia próximo ao SAF voltou a aflorar água e até formar corpo d'água recentemente.

ODS 15 – Vida Terrestre: Ao integrar espécies arbóreas e culturas, o SAF contribui para a conservação da biodiversidade e do solo, além dos microrganismos do solo, que como foi mostrado no SAF, que está em plena atividade metabólica atuando na quebra de material orgânico e ciclagem de nutrientes em um solo que antes de sua instalação, se assemelhava ao da Pastagem estudada.

ODS 17 – Parcerias Pelas Metas: O SAF estudado foi instalado por meio da parceria do Projeto "Café com Floresta" elaborado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPE) com o programa social do Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST), nos anos 2000, e até então esses assentados vem recebendo apoio governamental e de ONG's para o desenvolvimento dos sistemas e educação para as gerações vindouras.

No cenário atual de mudanças climáticas e a busca por meios de mitigação do aumento de temperatura, esse trabalho mostrou que, para a região do Pontal do Paranapanema, que possui um solo naturalmente mais arenoso e de baixa fertilidade, a instalação de um SAF bem desenvolvido pode ser uma alternativa sustentável no longo prazo, através de seus serviços ambientais prestados e a possibilidade de fonte de renda por parte da agricultura familiar.

Estas conclusões destacam a complexidade e a interação entre as árvores e o solo em sistemas agroflorestais e reforçam a necessidade de pesquisas adicionais para otimizar a gestão destes sistemas, considerando tanto objetivos ecológicos quanto produtivos.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.576.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I.; MONTALBA, R. El papel de La biodiversidad em La agricultura campesina em America latina. **Revista de Agroecologia (LEISA)**, Peru, v. 30, n.1, p. 5-8, 2014.
- AMORIM, H. C. S.; ASHWORTH, A. J.; ZINN, Y. L.; SAUER, T. J. Soil Organic Carbon and Nutrients Affected by Tree Species and Poultry Litter in a 17-Year agroforestry site. **Agronomy**, v. 12, n. 641, 2022.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p.393-395, 1993.
- ANDRADE, S. A. L. DE; SILVEIRA, A. P. D. DA. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, 2004.
- ARANA, A. R. A.; LIMA, A. M. Planejamento ambiental e agricultura familiar no assentamento São Bento III Mirante do Paranapanema SP. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 96, p. 112–137, 2017.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. DE S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 715–721, 2003.
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Biomassa microbiana do solo. Teresina, **UFPI**, 2012.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROPPO, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparison., and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141-6160, 2013.
- ASSUNÇÃO, S. A. Efeitos nas frações da matéria orgânica do solo pela aplicação de N-fertilizante em cana crua com deposição da palhada. 2016, 58 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.
- BAILEY, V. L.; BOND-LAMBERTY, B.; DEANGELIS, K.; GRANDY, A. S.; HAWKES, C. V.; HECKMAN, K.; LAJTHA, K.; PHILLIPS, R. P.; SULMAN, B. N.; TODD-BROWN, K. E. O.; WALLENSTEIN, M. D. Soil carbon cycling proxies: Understanding their critical role in predicting climate change feedbacks. **Global Change Biology**, v. 24, n. 3, p. 895-905, 2018.

- BARBOSA, J. S.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, K. C. R.; SILVA, E. A.; KOHN, L. S.; SANTOS, K. L. DOS. Eletroquímica e carbono orgânico de um cambissolo húmico no Planalto catarinense sob sistema agroflorestal. **Revista Scientia Agraria**, v,17, n. 2, p.49-56, 2016.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. DA; GAMA-RODRIGUES, A. C. DA; BARROS, N. F. DE; FONSECA, S. Atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 611-619, 2008.
- BARRIOS, E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. **Ecological economics**, v. 64, n. 2, p. 269-285, 2007.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as afected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v. 238, n. 01, p. 133-140, 2002.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. *In*: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 13-21.
- BEHERA, B. B.; MONDAL, S.; ROUT, K. Effect of Agroforestry System on Soil Properties in an Acid Inceptisol under Tropical Climatic Situation of Eastern India. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 34, n. 24, p. 142-156, 2022.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e comportamento mecânico para fins de manejo de solo. *In*: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (ed.). **Agricultura Conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 309-336.
- BRANCALION, P. H.; VIANI, R. A.; STRASSBURG, B. B.; RODRIGUES, R. R.; GARDNER, T. Agroforestry systems: restoring ecosystem services in agricultural landscapes. *In*: **Agroforestry**. Springer. 2018. p. 193-209.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops**, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; GONÇALVES, E. O.; GODINHO, T. O. Ciclagem de nutrientes via deposição e acúmulo de serrapilheira em ecossistemas florestais. *In*: GODINHO, T. O. **Quantificação de biomassa e de nutrientes na serrapilheira em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)— Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2011.

- CALDEIRA, M. V. W.; GODINHO, T. O.; MOREIRA, F. L.; CAMPANHARO, I. F.; CASTRO, K. C.; MENDONÇA, A. R. DE; TRAZZI, P. A. Litter as an Ecological Indicator of Forest Restoration Processes in a Dense Ombrophylous Lowland Forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. spe1, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.041118
- CALDERON-MEDINA, C. L.; BAUTISTA-MANTILLA, G. P.; ROJAS-GONZALEZ, S. Propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, indicadores do estado de diferentes ecossistemas em um terraço alto no departamento de Meta. **Orinoquia**, v. 22, n. 2, p. 141-157, 2018.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, 2016.
- CHAMBERS, A.; LAL, R.; PAUSTIAN, K. Soil carbon sequestration potential os US croplands and grasslands: Implementing the 4 per Thousand Initiative. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, p. 68A-74A, 2016.
- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; SWENSON, N. G.; ZANNE, A. E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 351-366, 2009.
- CHEN, W.; HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L. V. Microbial activity and biomass in containermedia for predicting suppressiveness to damping-off caused by Pythium ultimum. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, n. 11, p. 1447-1450, 1988.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.
- COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C. DE; CARVALHO, A. M. DE; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M. K. DOS R.; ARAÚJO, P. S. M.; OLIVEIRA, S. A. DE. Soil microbiological propertie., and available nitrogen for corn in monoculture intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1660-1667, 2016.
- COSTA, A. A.; DIAS, B. DE O.; FRAGA, V. DA S.; SANTANA, C. C.; SAMPAIO, T. F.; SILVA, N. DA. Physical fractionation of organic carbon in areas under different land uses in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, 2020.

- COSTA, M. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C. DA; ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. DA. Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. **Scientia Forestalis**, v.42, n. 101, p.101-112, 2014.
- DINIZ, S.; PAGANO, S. N. Dinâmica de folhedo em floresta mesófila semidecídua no município de Araras, SP. I Produção, decomposição e acúmulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 9, n. 1, p. 27-36, 1997.
- DUXBURY, J. J.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. *In*: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989.
- EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M.; STAHL, D. **Cluster analysis**. 5. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2011.
- FAHAD, S.; CHAVAN, S. B.; CHICHAGHARE, A. R.; UTHAPPA, A. R.; KUMAR, M.; KAKADE, V.; PRADHAN, A.; JINGER, D.; RAWALE, G.; YADAV, D. K.; KUMAR, V.; FAROOQ, T. H.; ALI, B.; SAWANT, A. V.; SAUD, S.; CHEN, S.; POCZAI, P. Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. **Sustainability**, v. 14, n. 22, 2022.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FERNANDES, E. C. M.; NAIR, P. K. R. An evaluation of the structure and function of tropical homegardens. **Agricultural Systems**, v. 41, n. 4, p. 279-310, 2020.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, 1999.
- FERREIRA, C. D.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; SALES, F. DAS C. V.; BARROSO, R. F.; SOUZA JUNIOR, C. M. P. DE. Deposição, acúmulo e decomposição de serapilheira em área preservada de caatinga. **Agrarian**, v. 12, n. 44, p. 174–181, 2019.
- FERREIRA, R. V.; TAVARES, R. L. M.; MEDEIROS, S. F. DE; SILVA, A. G. DA; SILVA JÚNIOR, J. F. DA. Carbon stock and organic fractions in soil under monoculture and Sorghum bicolor–Urochloa ruziziensis intercropping systems. **Bragantia**, v.79, n.3 p.425-433, 2020.
- FLIESSBACH, A.; OBERHOLZER, H. R.; GUNST, L.; MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 118, n. 1-4, p. 273-284, 2007.
- FREITAS, C. S.; SILVA, L. M.; AZEVEDO, J. M. Qualidade da Serrapilheira em Floresta Tropical com Bertholletia excelsa. *In*: SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFAC, 5., 2015, Rio Branco. **Anais** [...]. Rio Branco: PROINP/IFAC, 2015.

- FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extração. *In*: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. (coord.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000.
- GARCIA, D. M.; SILVA, C. G.; LANSA, V. R.; NERY, E. M.; SILVA, N. S.; ALBERTON, O.; COLAUTO, N. B.; SILVA, A. P. D Structural soil quality related to microbiological parameters in sugarcane. **An. Acad. Bras. Ciênc**, v. 92, n. 1 (Supl.), 2020.
- GODINHO, T. DE O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serrapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-77602014000100002
- GOMES JÚNIOR, D.; CALDEIRA, M. V. W.; MOMOLLI, D. R.; DELARMELINA, W. M.; DIAS, H. M.; PAULA, R. R.; BIGHI, K. N. Serrapilheira acumulada, estoque de nutrientes e decomposição em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Meio Ambiente e Água**, v. 17, 2022.
- GRAYSTON, S. J.; GRIFTHI, G. S.; MAWDESLEY, J. L.; CAMPEBELL, C. D.;BARDGETT, R. D. Accounting of variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 4/5, p. 533-551, 2001.
- GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; DIACK, M. Assay for fuorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 693-701, 2006.
- GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. DE O. Management of soil organic matter and carbon storage in tropical fruit crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 301-306, 2014.
- GUPTA, A.; RAJAN, S.; KUMAR, M. Carbon storage potential of mature trees in agroforestry landscapes. **Agroforestry Systems**, v. 95, p. 123-134, 2021.
- GUPTA, V. P. Role of agroforestry in soil conservation and soil health management: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 4 (Supl.), p. 555-558, 2020.
- GU, Y.; WANG, P.; KONG, C. H. Urease, Invertase, Dehydrogenase and Polyphenoloxidase Activities In Paddy Soils Influenced By Allelophatic Rice variety. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 5-6, 2009.
- HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A.; CHICKEN, E. **Nonparametric statistical methods**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2013.
- HORVATHY NETO, A.; SILVA, A.G.; TEIXEIRA, I.R.; SIMON, G.A.; ASSIS, R.L.; ROCHA, V.S. Consórcio sorgo e braquiária para produção de grãos e biomassa na entressafra. **Agrária**, v. 7, p. 743-749, 2012.

- INBAR, Y.; BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Hydrolysis of fluorescein diacetate in sphagnum peat container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by Pythium ultimum. **Soil Biology & Biochemistry**, Exeter, v. 23, p. 479-483, 1991.
- INSTITUTO FLORESTAL (São Paulo). **Parque Estadual Morro do Diabo**: plano de manejo. Santa Cruz do Rio Pardo: Ed. Viena, 2006. p. 311.
- IWATA, B. D. F.; BRANDÃO, M. L. S. M.; BRAZ, R. D. S.; LEITE, L. F. C.; COSTA, M. C. G. Carbono orgânico total e particular e relação de estratificação em sistemas agroflorestais na Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, 2021.
- JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern Recognition Letters**, v. 31, n. 8, p. 651-666, 2010.
- JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biol. Biochem**, v. 22, p. 1031-1038, 1990.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009.
- JOSE, S. Environmental Impacts and Benefits of Agroforestry. *In*: HAZLETT, R. W. (ed.). **The Oxford Encyclopedia of Agriculture and the Environment**. Oxford: Oxford University Press, 2019.
- KODINARIYA, T. M.; MAKWANA, P. R. Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. **International Journal**, v. 1, n. 6, p. 90-95, 2013.
- KUMAR, D.; KUMAR, S.; KUMAR, S.; DIWAKAR, S. K.; VERMA, A. K.; PAL, S.; YADAV, S. Effect of Plantation Tree Species with Varied Cropping Systems on Depth Wise Rate of Soil Carbon Sequestration and Soil Chemical Properties in Uttar Pradesh, India. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 34, n. 23, p. 1358-1367, 2022.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.
- LI, Y.; CHANG, S. X.; TIAN, L.; ZHANG, Q. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, p. 50-58, 2018.
- LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. DE; COSTA, C. DO N.; FERREIRA, J. DA S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1257-1263, 2013.

- LIMA, J. F. Restauração da paisagem do assentamento tucano através de sistemas SAFis. **Sintonia**, Presidente Venceslau, v. 2, n. 1, p. 88-103, 2003.
- LIN, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 183-193, 2011.
- LINHARES, J. M. S.; BASTOS, W. R.; SILVA, D. P. L.; SILVA JUNIOR, R. F.; OLIVEIRA, L. C. S. Variabilidade de atributos físico-químicos e dos estoques de carbono orgânico em argissolo vermelho sob sistemas agroflorestais no assentamento Umari sul do amazonas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, p. 93-117, 2016.
- LIU, X. M.; LI, Q.; LIANG, W-J.; JIANG, Y. Distribution of Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Along a Latitudinal Gradient in Farmlands of Songliao Plain, Northeast China, **Pedosphere**, v. 18, p. 431–440, 2008.
- LOPES, P.R. A Biodiversidade como fator preponderante para a produção agrícola em agroecossistemas cafeeiros sombreados no Pontal do Paranapanema. 2014. Tese (Doutorado em Ciências)- Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2014.
- LÓPEZ-CRUZ, S.; ARYAL, D. R.; VELÁZQUEZ-SANABRIA, C. A.; GUEVARA-HERNÁNDEZ, F.; VENEGAS-SANDOVAL, A.; CASANOVA-LUGO, F.; LA O-ARIAS, M.A.; VENEGAS-VENEGAS, J. A.; REYES-SOSA, M. B.; PINTO-RUIZ, R.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, A.; MEDINA-JONAPÁ, F. J.; RAMÍREZ-DIAZ, R.; LÓPEZ-CRUZ, A.; ALCUDIA-AGUILAR, A. Effect of Prescribed Burning on Tree Diversity, Biomass Stocks and Soil Organic Carbon Storage in Tropical Highland. **Forests**, v. 13, p. 2164, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/f13122164
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, H. C. DOS; SILVA, E. M. R. DA. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; DOS ANJOS, L. H. C. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 1, p. 217-231, 2013.

.

MAHARJAN, M.; SANAULLAH, M.; RAZAVI, B. S.; KUZYAKOV, Y. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 113, p. 22-28, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. p. 308.

- MANHAES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A. Estudo da inter-relação da qualidade do solo e da serrapilheira com a fauna edáfica utilizando análise multivariada. **Nucleus**, v. 9, 2012.
- MARTINS, E. M.; SILVA, E. R. DA; CAMPELLO, E. F. C.; LIMA, S. S. DE; NOBRE, C. P.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S. DE. O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 632-648, 2019.
- MARTINS, T. O.; SILVA-NETO, C. M.; SIQUEIRA, K. N.; CARVALHO, H. C. S.; MORAIS, D. C.; SILVA, P. H. F.; FONSECA, C. S.; VENTUROLI, F.; CALIL, F. N. Accumulated litter and nutrient stock in biomass and in soil in forest formations in the Cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, 2021. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.18
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. Varginha: Fundação Procafé, 2005.
- MCCAULEY, K.; BARLOW, K. Regenerative agriculture: increasing plant diversity and soil carbon sequestration on agricultural landscapes. **SURG Journal**, v. 15, 2023.
- MELLONI, R.; COSTA, N. R.; MELLONI, E. G. P.; LEMES, M. C. S.; ALVARENGA, M. I. N.; NUNES NETO, J. Sistemas safis cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018.
- MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z. S.; CHENG, K.; DAS, B. S.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C. C.; VÅGEN, T. G.; WESEMAEL, B. V.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, v. 292, p. 59–86, 2017.
- MOESKOPS, B.; SUKRISTIYONUBOWO; BUCHAN, D.; SLEUTEL, S.; HERAWATY, L.; HUSEN, E.; SARASWATI, R.; SETYORINI, D.; NEVE, S. DE. Microbial Communities and Activities Under Intensive Organic and Conventional Vegetable Farming In West Java, Indonesia. **Applied Soil Ecology**, v. 45, n. 2, p. 112-120, 2010.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 238.
- MONROE, P. H. M. Fine root contribution to the soil carbon stock of an agroforestry system in a Caatinga-Atlantic Forest transition zone. **RBCIAMB**, v. 56, n. 1, mar. 2021.

- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. p. 626.
- NAIR, P. K. R. Climate change mitigation: A low-hanging fruit of agroforestry. *In*: Nair, P. K. R.; Garrity, D. (ed.). Agroforestry The Future of Global Land Use. Springer, **Dordrecht**, p. 31-67, 2012.
- OLIVEIRA, R. S.; JOLY, C. A. Floristic relationships and structural diversity in tropical forests of Southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 1, p. 77-88, 2010.
- PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C. DA; SILVA JÚNIOR, J. A. DA; NEVES, J. A. B.; SANTOS, M. L. W. D. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: O retorno. **Leviathan**, n. 8, p. 66-95, 2014.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1996. p. 340.
- PEREIRA, S. V.; MARTINEZ, C. R.; PORTO, E. V.; OLIVEIRA, B. R. B.; MAIA, L. C. Atividade microbiana em solo do Semi-Árido sob cultivo de Atriplex nummularia. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 757-762, ago. 2004.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Rev. Cienc. Agrar**., v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013.
- PIMENTEL, A. E. B. Assentamentos de Reforma Agrária na Região do Pontal do Paranapanema e seus Impactos Econômicos e Sociais. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2004.
- PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de Floresta Estacional Semidecidual na reserva florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 653-663, 2009.
- POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, v. 6, p. 317-327, 2000.
- PRASAD, R. V.; ARUNACHALAM, A.; SHUKLA, A.; SINGH, P.; GUPTA, A.; SAROJ, N.; TRIPATHI, V. Field management practices in agroforestry systems influence organic carbon and biological properties of soil. **Agroforestry Systems**, v. 97, p.1-16, 2023.
- QGIS Geographic Information System: Project. Versão 3.34.2. [S. I.]: Open Source Geospatial Foundation, 2019. Internet. Acesso em: 16 abr. 2020. Disponível em: http://qgis. osgeo.org

- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Software.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C. DE; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. **A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. São Paulo: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, 1988.
- RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibrations for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 14, p.2059-2060, 1999.
- RODRIGUES, E. R.; GALVÃO, F. Florística e fitossociologia de uma área de reserva legal recuperada por meio de sistema agroflorestal na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista FLORESTA**, v. 36, 2006.
- ROSIN, N. A.; DALMOLIN, R. S. D.; HORST-HEINEN, T. Z.; MOURA-BUENO, J. M.; SILVA-SANGOI, D. V. DA .; SILVA, L. S. DA. Diffuse reflectance spectroscopy for estimating soil organic carbon and make nitrogen recommendations. **Sci. Agric.**, v. 78, n. 5, 2020.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 252-258, 2015.
- SALAZAR. S.; SÁNCHEZ, L. E.; ALVAREZ, J.; VALVERDE, A.; GALINDO, P.; IGUAL, J. M.; PEIX, A.; SANTA-REGINA, I. Correlation Among Soil Enzyme Activities Under Different Forest System Management Practices. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 8, p. 1123-1131, 2011.
- SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B. DE; OLIVEIRA, E. B. DE. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 43–53, 2017.
- SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A. DA; CARLOS, S. DE M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas SAFis como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 55, n. 1, p. 9-30, 2017.
- SHARMA, P.; SINGH, R.; AGRAWAL, M. Role of tree size and age in carbon sequestration potential of agroforestry systems. Journal of Agroforestry and Environment, v. 13, n. 2, p. 25-30, 2019.
- SILVA, A. A.; FERNANDES, B. M.; VALENCIANO, R. C. Relatório de Impactos Socioterritoriais (RIST): desenvolvimento territorial e políticas públicas no Pontal do Paranapanema. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista, 2006. p.376.

- SILVA, B. N.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1512-1526, 2015.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. DE; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.
- SILVA, M. S. C. DA.; SILVA, E. M. R. DA; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. DA. Estoque de serrapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, 2012.
- SILVA, M.D.M.; BARAJAS-ACEVES, M.; ARAÚJO, A. S. F.; ARAÚJO, F. F.; MELO, W. J. Soil Microbial Biomass After ThreeYear Consecutive Composted Tannery Sludge Amendment. **Pedosphere**, v. 24, n. 4, p. 469-475, 2014.
- SILVA-GALICIA, A.; VALENCIA, V.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; CECCON, E. Weight-of-evidence approach for assessing agroforestry contributions to restore key ecosystem services in tropical dry forests. **Agroforestry Systems**, v. 97, p. 151-161, 2022.
- SINHA, A.; SHARMA, H. P.. Carbon sequestration potential of silvicultural and horticultural tree species under different multitier cropping systems. **International Journal of Advance Research**, Ideas and Innovations in Technology, v. 7, n. 3, 2021.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEF, K.; OGLE, S.; SA, J. C. DE M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of notillage. **Agronomie**, v. 22, p. 755-775, 2002.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M. DA; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesq. agropec. Brás.**, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.
- SOUZA, M. C. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, S. F. DA; SCORIZA, R. N. Funcionalidade Ecológica de Sistemas SAFis Biodiversos: Uso da Serrapilheira como indicador da Recuperação de Áreas de Preservação Permanente. **Revista Floresta**, v. 46, n. 1, p. 75-82, 2016.
- SOUZA, M.; VARGAS, M. M. M.; VENTURA, B. S.; MÜLLER JÚNIOR, V.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Atividade microbiana em solo com cebola cultivada em sistema de plantio direto com plantas de cobertura isoladas ou consorciadas. **Ciência Rural**, v. 50, n. 12, 2020.
- SOUZA, M. P. DE; PINTOS, M. G. C.; NUNES, A. R. V.; LEONARDO, F. A. P.; SOUTO, J. S. Qualidade da serrapilheira em área de caatinga submetida a plano de manejo florestal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, v. 12, n. 3, 2017.

- SOUZA, P. T. DE.; SILVA, T. C.; TROLEIS, M. J. B.; SENA, K. N.; SILVA, A. C. R.; SANTOS, T. E. B. DOS; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, 2021.
- STEPHENSON, N. L.*et al.* Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. **Nature**, v. 507, p. 90-93, 2014.
- SWISHER, R.; CARROLL, C. G. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surface. **Microbial Ecology**, v. 6, p. 217-226, 1980.
- TAYLOR, J.P.; WILSON, B.; MILLS, M.S.; BURNS, R.G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 387-401, 2002.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 573.
- TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J. M Biodiversity and ecosystem functioning. **Annual review of ecology**, evolution, and systematics, v. 47, p. 747-772, 2017.
- TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1173-1184, 2007.
- TUKEY, J.W. Exploratory Data Analysis. Londres: Pearson, 1977.
- VAN OS, G. J.; GINKEL, J. H. Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 11, 2001.
- VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas SAFis através de indicadores ambientais, **Interações**, Campo Grande, v. 19, n. 1, p. 209-220, 2018.
- VINHAL-FREITAS, I. C.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, B.; BOBUĽSKÁ, L.; FERREIRA, A. S. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 182-190, 2017.
- WASKOM, M. Seaborn: statistical data visualization. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 60, p. 3021, 2021.
- WOLIŃSKA, A. BENNICELLI, R. Dehydrogenase Activity Response to Soil Reoxidation Process Described as Varied Condition of Water Potential, Air Porosity and Oxygen Availability. **Journal of Environmental Studies**, v. 19, 2010.

WOLINSKA, A.; STEPNIEWSKA, Z. Dehydrogenase Activity in the Soil Environment. *In*: CANUTO, R. A. (ed.). **Dehydrogenases**. Londres: Intechopen, 2012.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.,** v. 19, p. 1467-1476, 1988.

YUAN, B.; YUE, D. Soil Microbial and Enzymatic Activities Across a Chronosequence of Chinese Pine Plantation Development On The Loess Plateau of China. **Pedosphere**, v. 22, n. 112, 2012.

ZANATTA, J. A.; PULROLNIK, K.; VIANA, J. H. M. Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais—Projeto Saltus. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, 2015.

ANEXO A - Inventário Arbóreo

GPS	Nome popular	Nome Científico	(CAP cm)
1	Paineira	Ceiba speciosa	90
2	Açoita cavalo	Luehea divaricata	34
3	Paineira	Ceiba speciosa	110
4	Jambolão	Syzygium cumini	77
5	Ingá feijão	Inga laurina	117
6	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	225
7	Pimenta de macaco	Xylopia brasiliensis	26
8	Ingá feijão	Inga laurina	146
9	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	50
10	lpê roxo	Handroanthus heptaphyllus	40
11	Ingá feijão	Inga laurina	125
12	Seringueira	Hevea brasiliensis	51
13	Ingá feijão	Inga laurina	122
14	Embaúba	Cecropia pachystachya	32
15	Canafístula	Peltophorum dubium	159
16	Amendoim do Campo	Pterogyne nitens	33
17	Canafístula	Peltophorum dubium	62
18	Canafístula	Peltophorum dubium	98
19	Jambolão	Syzygium cumini	102
20	Jambolão	Syzygium cumini	106
21	Jambolão	Syzygium cumini	216
22	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	34
23	Canafístula	Peltophorum dubium	72
24	Jambolão	Syzygium cumini	120
25	Ingá feijão	Inga laurina	120
26	Jambolão	Syzygium cumini	115
27	Canafístula	Peltophorum dubium	108
28	Jambolão	Syzygium cumini	117
29	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	34
30	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	39
31	Ipê Branco	Tabebuia roseoalba	39
32	Jambolão	Syzygium cumini	214
33	Pequizeiro	Caryocar brasiliense	29
34	Copaíba	Copaifera langsdorffii	20
35	Pau Ferro	Caesalpinia ferrea	60
36	Jerivá	Syagrus romanzoffiana	72
37	Macaúba	Acrocomia aculeata	72
38	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	35
39	Canafístula	Peltophorum dubium	120
40	Ingá feijão	Inga laurina	87
41	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	32
42	Jambolão	Syzygium cumini	113
43	Jambolão	Syzygium cumini	47

		Enterolobium	
44	Timburi	contortisiliquum	65
45	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	80
46	Mutambu	Guazuma ulmifolia	55
47	Ingá feijão	Inga laurina	135
48	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	47
49	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	64
50	Canafístula	Peltophorum dubium	95
51	Jambolão	Syzygium cumini	230
52	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	55
53	Oiti	Licania tomentosa	38
54	Oiti	Licania tomentosa	47
55	Oiti	Licania tomentosa	23
56	Ingá feijão	Inga laurina	240
57	Pinus Endocarpo	Araucaria angustifolia	72
58	Jaqueira	Artocarpus integrifolia	138
59	Jambolão	Syzygium cumini	85
60	Embaúba	Cecropia pachystachya	80
61	Canafístula	Peltophorum dubium	70
62	Cajueiro	Anacardium occidentale	61
63	Seringueira	Hevea brasiliensis	23
64	Pinus Endocarpo	Araucaria angustifolia	75
65	Louro Pardo	Cordia trichotoma	57
66	Jatobá	Hymenaea courbaril	65
67	Ingá feijão	Inga laurina	124
68	Jambolão	Syzygium cumini	127
69	Cedro	Cedrella fissilis	66
70	Louro Pardo	Cordia trichotoma Enterolobium	34
71	Timburi	contortisiliquum	57
72	Espeteiro	Casearia gossypiosperma	61
73	Louro Pardo	Cordia trichotoma	84
74	Louro Pardo	Cordia trichotoma	61
75	Jambolão	Syzygium cumini	122
76	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	145
77	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	24
78	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	27
79	Jambolão	Syzygium cumini	87
80	Canafístula	Peltophorum dubium	85
81	Canafístula	Peltophorum dubium	92
82	Canafístula	Peltophorum dubium	70
83	Jambolão	Syzygium cumini	108
84	Louro Pardo	Cordia trichotoma	61
85	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	106
86	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	86
87	Ingá feijão	Inga laurina	193
88	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	27

89	Louro Pardo	Cordia trichotoma	67
90	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	119
91	Acácia Mange	Acacia mangium	58
92	Jambolão	Syzygium cumini	119
93	Louro Pardo	Cordia trichotoma	64
94	Seringueira	Hevea brasiliensis	40
95	Acácia Mange	Acacia mangium	99
96	Ingá feijão	Inga laurina	124
97	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	40
98	Ingá feijão	Inga laurina	132
99	Ingá feijão	Inga laurina	107
100	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	75
101	Seringueira	Hevea brasiliensis	25
102	Espeteiro	Casearia gossypiosperma	66
103	Graviola	Annona muricata	41
104	Seringueira	Hevea brasiliensis	57
105	Louro Pardo	Cordia trichotoma	60
106	Seringueira	Hevea brasiliensis	33
107	Seringueira	Hevea brasiliensis	48
107	Acácia Mange	Acacia mangium	7 6
109	Louro Pardo	Cordia trichotoma	75
110	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	141
111	Pau Ferro	Caesalpinia ferrea	22
112	Acácia Mange	Acacia mangium	85
113	Jambolão	Syzygium cumini	144
114	Louro Pardo	Cordia trichotoma	54
115	Graviola	Annona muricata	75
116	_	Inga laurina	55
117	Ingá feijão Canafístula	<u> </u>	71
117	Canafístula	Peltophorum dubium	106
		Peltophorum dubium	
119	Ingá feijão	Inga laurina	75
120	Acácia Mange	Acacia mangium	144
121	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	215
122	Seringueira	Hevea brasiliensis	63
123	Jambolão	Syzygium cumini	126
124	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	82
125	Seringueira	Hevea brasiliensis	33
126	Canafístula	Peltophorum dubium	175
127	Ingá feijão	Inga laurina	115
128	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	98
129	Seringueira	Hevea brasiliensis	26
130	Acácia Mange	Acacia mangium	66
131	Seringueira	Hevea brasiliensis	43
132	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	30
133	lpê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	27
134	Ingá feijão	Inga laurina	122

135	Canafístula	Peltophorum dubium	87
136	Jambolão	Syzygium cumini	376
137	Ingá feijão	Inga laurina	124
138	Canafístula	Peltophorum dubium	41
139	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	135
140	Seringueira	Hevea brasiliensis	23
141	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	70
142	Jambolão	Syzygium cumini	234
143	Gliricídea	Gliricidia sepium	111
144	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	192
145	Embaúba	Cecropia pachystachya	37
146	Ingá feijão	Inga laurina	231
147	Graviola	Annona muricata	88
148	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	166
149	Seringueira	Hevea brasiliensis	55
150	Seringueira	Hevea brasiliensis	57
151	Jatobá	Hymenaea courbaril	48
152	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	65
153	Seringueira	Hevea brasiliensis	29
154	Canafístula	Peltophorum dubium	119
155	Ingá feijão	Inga laurina	127
156	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	88
157	Graviola	Annona muricata	55
158	Canafístula	Peltophorum dubium	50
159	Canafístula	Peltophorum dubium	84
160	Jambolão	Syzygium cumini	80
161	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	34
162	Ingá feijão	Inga laurina	147
163	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	190
164	Cedro	Cedrella fissilis	190
165			35
166	lpê Tabaco Jambolão	Zeyheria tuberculosa	90
167	Ipê Tabaco	Syzygium cumini	41
168	•	Zeyheria tuberculosa Hevea brasiliensis	30
	Seringueira Pau Ferro		
169		Caesalpinia ferrea	20 50
170	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	58
171	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	122
172	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	187
173	Pimenta de macaco	Xylopia brasiliensis	21
174	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	56
175	Jambolão	Syzygium cumini	227
176	Pau Ferro	Caesalpinia ferrea	20
177	Jambolão	Syzygium cumini	128
178	Ingá feijão	Inga laurina	128
179	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	207
180	Ingá feijão	Inga laurina	593

181	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	125
182	Angico preto	Anadenanthera colubrina	136
183	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	181
184	Acácia Mange	Acacia mangium	64
185	Angico preto	Anadenanthera colubrina	84
186	Seringueira	Hevea brasiliensis	35
187	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	32
188	Graviola	Annona muricata	39
189	Canafístula	Peltophorum dubium	101
190	Ingá feijão	Inga laurina	223
191	Jambolão	Syzygium cumini	146
192	Aroeira Branca	Myracrodruon urundeuva	73
193	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	101
194	Jatobá	Hymenaea courbaril	65
195	Ingá feijão	Inga laurina	102
196	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	196
197	Gliricídea	Gliricidia sepium	56
198	Gliricídea	Gliricidia sepium	72
199	Gliricídea	Gliricidia sepium	187
200	lpê roxo	Handroanthus heptaphyllus	68
201	Graviola	Annona muricata	55
202	Gliricídea	Gliricidia sepium	84
203	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	222
204	Guapuruvu	Schizolobium parahyba	42
205	Jatobá	Hymenaea courbaril	98
206	Gliricídea	Gliricidia sepium	193
207	Ingá feijão	Inga laurina	133
208	Gliricídea	Gliricidia sepium	48
209	Jatobá	Hymenaea courbaril	177
210	Gliricídea	Gliricidia sepium	28
211	Gliricídea	Gliricidia sepium	56
212	Ingá feijão	Inga laurina	298
213	Gliricídea	Gliricidia sepium	138
214	Ipê Tabaco	Zeyheria tuberculosa	34
215	Gliricídea	Gliricidia sepium	116
216	Angico preto	Anadenanthera colubrina	141
217	Gliricídea	Gliricidia sepium	33
218	Gliricídea	Gliricidia sepium	40
219	Gliricídea	Gliricidia sepium	108
220	Ingá feijão	Inga laurina	260
221	Jatobá	Hymenaea courbaril	124
222	Seringueira	Hevea brasiliensis	81
222	Cuatambé	Balfourodendron	20
223	Guatambú	riedelianum	38
224	Jambolão	Syzygium cumini	194