

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MESORREGIÃO DO VALE DO RIO  
DOCE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS, DENDROMETRIA DE  
COMPONENTES ARBÓREOS E COMUNIDADE MACROINVERTEBRADA**

**Lucas Antunes da Silva**

**Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2023**

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MESORREGIÃO DO VALE DO RIO  
DOCE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS, DENDROMETRIA DE  
COMPONENTES ARBÓREOS E COMUNIDADE MACROINVERTEBRADA**

LUCAS ANTUNES DA SILVA

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof. Dra. Silvia Correa Santos

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia- Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2023

*SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MESORREGIÃO DO VALE DO RIO DOCE:  
ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS, DENDROMETRIA DE COMPONENTES  
ARBÓREOS E COMUNIDADE MACROINVERTEBRADA*

por

**LUCAS ANTUNES DA SILVA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção  
do título de MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 06/10/2023.

---

Profa. Dra. Silvia Correa Santos  
UFGD/FCA

---

Dra. Elisandra Pacito Torales  
UNEMAT

---

Prof. Dr. Elias Silva de Medeiros  
UFGD/FACET

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586s Silva, Lucas Antunes Da  
Sistemas Agroflorestais na mesorregião do Vale do Rio Doce: atributos físico-químicos, dendrometria de componentes arbóreos e comunidade macroinvertebrada [recurso eletrônico] / Lucas Antunes Da Silva. -- 2024.  
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Sílvia Correa Santos.  
Coorientador: Cleberton Correia Santos.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. fertilidade do solo. 2. atributos dendrométricos. 3. macrofauna edáfica. 4. restauração florestal. I. Santos, Sílvia Correa. II. Santos, Cleberton Correia. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO GERAL.....	10
GENERAL ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Contextualização.....	18
3.2 Questão ambiental na atualidade.....	20
3.3 Sistemas Agroflorestais: conceitos, importância e etapa histórica.....	22
3.4 SAF's como alternativa para recomposição de áreas degradadas.....	25
3.5 SAF's, sua dinâmica e dendrometria.....	27
3.6 Macrofauna edáfica como bioindicador de qualidade de manejo dos SAF's...	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	39
4 INTRODUÇÃO.....	41
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
5.1 Caracterização da área de estudo.....	43
5.2 Caracterização dos sistemas avaliados.....	45
5.3 Resumo da composição florística dos SAF's.....	49
5.4 Arranjo amostral.....	51
5.5 Atributos físico-químicos.....	52
5.6 Análise dendrométrica dos componentes arbóreos.....	53
5.7 Análises estatísticas.....	55
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
6.1 Atributos físico-químicos do solo.....	57
6.2 Atributos dendrométricos dos componentes arbóreos.....	66
7 CONCLUSÕES.....	73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
RESUMO.....	77
ABSTRACT.....	78
8 INTRODUÇÃO.....	79
9 MATERIAL E MÉTODOS.....	81
9.1 Caracterização da área de estudo.....	81
9.2 Condições gerais, períodos de coleta e caracterização dos sistemas.....	82
9.3 Amostragem da macrofauna edáfica.....	87
9.4 Indicadores ecológicos.....	89
9.5 Delineamento experimental e análises de dados.....	89
10 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
11 CONCLUSÕES.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localização das áreas de estudo no Município de Jampruca-MG. Fonte: o autor, 2023.....	44
FIGURA 2. Precipitação (mm), umidade (%) e temperatura (C) obtidas pela Estação Meteorológica de Governador Valadares para o período de agosto de 2021 a agosto de 2022. Fonte: Dados INMET, estação meteorológica de Governador Valadares (INMET, 2022).....	44
FIGURA 3. Sistemas Agroflorestais em novembro de 2021- SAF01 (1), SAF02 (2), SAF03 (3) e SAF04 (4). Fonte: o autor, 2021.....	46
FIGURA 4. Croqui do arranjo amostral. Fonte: O autor (2023).....	52
FIGURA 5. Representação da coleta de solo para análise físico-química em Sistemas Agroflorestais. Fonte: o autor (2021).....	53
FIGURA 6. Mensuração da Circunferência a Altura do Peito (CAP) e altura das espécies arbóreas estudadas em Sistemas Agroflorestais. Fonte: o autor (2021).....	54
FIGURA 7. Correlação de Pearson para os atributos químicos.....	61
FIGURA 8 - Análise de Componentes Principais (ACP) – Biplot para os atributos químicos nos SAF’s estudados.....	62
FIGURA 9 - Análise de cluster para os atributos químicos nos SAF’s estudados.....	63
FIGURA 10. Análise de componentes principais – ACP – Biplot para a análise granulométrica nos SAF’s estudados.....	65
FIGURA 11. Análise de correlação para <i>Jacaranda macrantha</i> Cham referente aos atributos dendrométricos.....	69
FIGURA 12. Análise de correlação para <i>Bixa orellana</i> L. referente aos atributos dendrométricos nos SAF’s.....	70
FIGURA 13 - Análise de correlação para <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong referente aos atributos dendrométricos nos SAF’s.....	71
FIGURA 14 - Análise de correlação para <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi referente aos atributos dendrométricos nos SAF’s.....	72

FIGURA 20 - Precipitação (mm), umidade (%) e temperatura (C) obtidas pela Estação Meteorológica de Governador Valadares para o período de agosto de 2021 a agosto de 2022. Fonte: Dados INMET, estação meteorológica de Governador Valadares (INMET, 2022).....	82
FIGURA 21 - Ilustração do croqui de coleta do solo. Fonte: o autor (2022).....	87
FIGURA 22 - Ilustração de amostragem do solo e triagem dos organismos. Fonte: o autor (2022).....	88
FIGURA 23 - Aspecto visual da vegetação no período seco (A) e chuvoso (B) em sistemas agroflorestais biodiversos. Fonte: o autor (2022).....	90
FIGURA 24 - Acúmulo de serrapilheira em quatro sistemas agroflorestais biodiversos e fragmento florestal referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil. (A) * $p \leq 0,05 \pm$ erro padrão (teste t de Bonferroni). (B) Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05 \pm$ erro padrão.....	91
FIGURA 25 - Abundância (A, B) e riqueza (C, D e E) de organismos da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais biodiversos e fragmento florestal referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil. (A) * $p \leq 0,05 \pm$ erro padrão (teste t de Bonferroni). (B) Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey $p \leq 0,05 \pm$ erro padrão.....	96

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - Atributos químicos referente a profundidade de 0 - 20 centímetros em Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) e Fragmento Florestal de Referência (FFR).....	57
TABELA 2. Análise granulométrica referente a camada de 0 a 20 centímetros de profundidade.....	64
TABELA 3. Médias dos atributos dendrométricos das espécies arbóreas nos sistemas agroflorestais.....	66
TABELA 4 - Composição florística de espécies arbóreas e frutíferas dos Sistemas Agroflorestais.....	84
TABELA 5 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais e um fragmento florestal referencial, avaliadas em duas profundidades e duas épocas de coleta, em Jampruca - Minas Gerais, Brasil.....	93
TABELA 6 - Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e equabilidade de Pielou ( $e$ ) da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais biodiversos (SAF) e fragmento florestal referencial (FFR), coletados em dois períodos (chuvoso e seco) em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil.....	98

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MESORREGIÃO DO VALE DO RIO  
DOCE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS, DENDROMETRIA DE  
COMPONENTES ARBÓREOS E COMUNIDADE MACROINVERTEBRADA**

**RESUMO GERAL**

O rompimento da barragem do Fundão, ocorrido em 05 de novembro de 2015 em Mariana-MG é considerado um dos eventos de perturbação ambiental em escala sem precedentes na história da mineração no Brasil. O passivo ambiental advindo do rompimento prevê metas de restauração florestal. Entre as técnicas de restauração estão os sistemas agroflorestais (SAF's). A agrofloresta é um caminho potencial para recuperação de áreas degradadas e redução dos efeitos das mudanças climáticas por meio da resiliência e biodiversidade dos sistemas. O presente estudo objetiva investigar como diferentes SAF's voltados a restauração florestal influenciam os atributos físico-químicos do solo, os aspectos dendrométricos dos componentes arbóreos, e a comunidade macroinvertebrada do solo. Foram estudados 04 SAF's e 01 fragmento florestal remanescente considerado como ecossistema de referência comparativa. O estudo está subdividido em dois capítulos. O capítulo I aborda os atributos físico-químicos do solo e parâmetros dendrométricos dos componentes arbóreos. Foram avaliados os seguintes atributos físico-químicos na camada de 0 – 20 centímetros: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Fósforo (P), Acidez Potencial (H+Al), Matéria Orgânica (MO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). Também foi analisada a granulometria através dos teores de areia, silte e argila. Os atributos dendrométricos analisados foram Diâmetro a Altura do Peito (DAP), Altura (H), Área Basal (AB) e Volume (V) de 04 espécies arbóreas, sendo *Bixa orellana* L., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)' Morong, *Jacaranda macrantha* Cham e *Schinus terebinthifolia* Raddi. Quanto aos resultados, o SAF02 apresentou valores estatisticamente superiores para Ca, Mg, K, CTC, SB, V%, Mn e Zn. Não houve diferença estatística na análise granulométrica. Para a espécie *Bixa orellana* L. o DAP foi superior no SAF04, a H nos sistemas SAF02 e SAF03, a AB e V no SAF01, SAF3 e SAF04. Para o *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)'Morong o DAP e a AB foram superiores nos sistemas SAF02 e SAF03, enquanto a H e o V foram superiores no SAF02. Para o *Jacaranda micrantha* Cham. o SAF04 foi superior aos

demais sistemas no DAP, AB e V. Para a espécie *Schinus terebinthifolia* Raddi a H foi superior no SAF01 e SAF03 enquanto o V foi superior nos sistemas SAF01 e SAF04. Apesar da semelhança entre a implantação de cada sistema houve diferenças significativas no desenvolvimento inicial dos SAF's implantados para fins de restauração florestal. O capítulo II aborda a macrofauna edáfica dos SAF's. As coletas foram subdivididas em período seco e chuvoso e em diferentes profundidades (0 a 10 centímetros e 10 a 20 centímetros). Os organismos coletados foram identificados em nível de Ordem. Os atributos analisados foram Frequência Relativa, Riqueza, Abundância. Também foi avaliado o acúmulo de serrapilheira e os índices ecológicos de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e Índice de Pielou ( $e$ ). Os maiores valores de acúmulo de serrapilheira foram observados no período chuvoso e no SAF02 e FFR. Os grupos de maior frequência foram os Hymenoptera, Oligochaeta, Coleoptera, Isoptera e larvas em geral. Os maiores valores de abundância ocorreram na profundidade 0 – 10 cm, e nos SAF02, SAF03 e FFR, todos no período chuvoso. A riqueza de grupos permaneceu maior no SAF02 e FFR, no período chuvoso, e na profundidade 0-10 cm. Na profundidade 0-10 cm e período seco, os valores dos índices ecológicos da macrofauna edáfica foram menores. Os SAF's biodiversos contribuem para a diversidade de organismos da macrofauna edáfica, e que o SAF02 apresenta índices ecológicos mais semelhantes ao FFR, caracterizando o de maior estabilidade e resiliência ambiental.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, atributos dendrométricos, macrofauna edáfica, restauração florestal.

## GENERAL ABSTRACT

The collapse of the Fundão dam, which occurred on November 5, 2015, in Mariana-MG, is considered one of the events of environmental disturbance on an unprecedented scale in the history of mining in Brazil. The environmental liabilities resulting from the rupture provide for forest restoration goals. Among the restoration techniques are agroforestry systems (SAF's). Agroforestry is a potential path to recovering degraded areas and reducing the effects of climate change through systems resilience and biodiversity. The present study aims to investigate how different SAFs aimed at forest restoration influence the physical-chemical attributes of the soil, the dendrometric aspects of the tree components, and the soil macroinvertebrate community. 04 SAF's and 01 remaining forest fragment considered as a comparative reference ecosystem were studied. The study is subdivided into two chapters. Chapter I addresses the physicochemical attributes of the soil and dendrometric parameters of the tree components. The following physicochemical attributes were evaluated in the 0 – 20 centimeter layer: Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Potassium (K) and Phosphorus (P), Potential Acidity (H+Al), Organic Matter (MO), Hydrogenion Potential (pH), Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn) and Zinc (Zn). Granulometry was also analyzed using sand, silt and clay content. The dendrometric attributes analyzed were Diameter at Breast Height (DBH), Height (H), Basal Area (AB) and Volume (V) of 04 tree species, including *Bixa orellana* L., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)' Morong, *Jacaranda macrantha* Cham and *Schinus terebinthifolia* Raddi. Regarding the results, SAF02 presented statistically higher values for Ca, Mg, K, CTC, SB, V%, Mn and Zn. There was no statistical difference in the granulometric analysis. For the species *Bixa orellana* L. the DAP was higher in SAF04, H in the SAF02 and SAF03 systems, AB and V in SAF01, SAF3 and SAF04. For *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)'Morong, DAP and AB were superior in the SAF02 and SAF03 systems, while H and V were superior in SAF02. For the *Jacaranda micrantha* Cham. SAF04 was superior to the other systems in DAP, AB and V. For the species *Schinus terebinthifolia* Raddi, H was superior in SAF01 and SAF03 while V was superior in systems SAF01 and SAF04. Despite the similarity between the implementation of each system, there were significant differences in the initial development of SAFs implemented for forest restoration purposes. Chapter II addresses the soil macrofauna of the SAF's. The collections were subdivided into dry and rainy periods and at different depths (0 to 10 centimeters and 10

to 20 centimeters). The collected organisms were identified at Order level. The attributes analyzed were Relative Frequency, Richness, Abundance. Litter accumulation and the ecological indices of Shannon-Weaver ( $H'$ ) and Pielou Index ( $e$ ) were also evaluated. The highest values of litter accumulation were observed in the rainy season and in SAF02 and FFR. The most frequent groups were Hymenoptera, Oligochaeta, Coleoptera, Isoptera and larvae in general. The highest abundance values occurred at depth 0 – 10 cm, and in SAF02, SAF03 and FFR, all in the rainy season. The richness of groups remained higher in SAF02 and FFR, in the rainy season, and at depth 0-10 cm. At depth 0-10 cm and dry period, the values of ecological indices of soil macrofauna were lower. Biodiverse SAFs contribute to the diversity of soil macrofauna organisms, and SAF02 presents ecological indices more similar to FFR, featuring greater stability and environmental resilience.

**Keywords:** soil fertility, dendrometric attributes, soil macrofauna, forest restoration.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Em 05 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, localizada em Mariana-MG. É considerado um dos eventos de perturbação ambiental em escala sem precedentes na história da mineração. A barragem pertencente à empresa Samarco Corporation (*joint venture* entre as empresas Vale S.A. e BHP Billiton Brasil Ltda), era classificada como uma barragem de rejeitos de mineração de minério de ferro. O colapso da estrutura liberou quantidade estimada de 34 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração nos ecossistemas terrestres e aquáticos, que percorreram cerca de 650 quilômetros ao longo da bacia até atingir a foz do Rio Doce, em Linhares, no litoral do Espírito Santo (CPRM, 2015).

Os impactos foram abrangentes, especialmente no âmbito ambiental. A lama de rejeito e os sedimentos carregados contaminaram rios, cursos d'água, matas ciliares e ecossistemas aquáticos ao longo da sua trajetória. A mortalidade de peixes e outras espécies aquáticas foi significativa, afetando a biodiversidade local e desestruturando a resiliência dos ecossistemas. Além disso, a poluição dos corpos d'água comprometeu a qualidade da água, tornando-a imprópria para consumo humano e uso agrícola, resultando também em impactos socioeconômicos às comunidades afetadas (IBAMA, 2015).

Devido ao impacto ambiental causado, as empresas responsáveis assinaram o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC) junto ao Governo Federal, os governos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e outras entidades como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e Fundação Nacional do Índio (Funai), que prevê ações socioeconômicas e ambientais de reparação e compensação.

Dentre as diversas ações previstas no TTAC destacam-se como medida compensatória os programas de restauração florestal de nascentes, áreas de preservação permanente (APP) e áreas de recarga hídrica (ARH) pertencentes a bacias tributárias do Rio Doce. Os programas preveem a restauração a partir de diversas técnicas, entre elas os Sistemas Agroflorestais (SAF's).

Sistema agroflorestal é definido como um sistema agropecuário diferenciado por ter um componente arbóreo ou lenhoso, o qual tem um papel fundamental na sua estrutura e função. Os sistemas agroflorestais têm os atributos de qualquer sistema: limites, componentes, interações, entradas e saídas, relações hierárquicas e uma dinâmica própria. Os limites são as bordaduras físicas do sistema; os componentes são os elementos físicos, biológicos e socioeconômicos; as entradas ou *inputs* e as saídas ou *outputs* são a matéria e a energia que se transfere entre diferentes sistemas; as interações são as relações entre energia e matéria trocadas entre os componentes do sistema; a hierarquia é a posição e inter-relações com outros sistemas (YOUNG, 1991; OTS/CATIE, 1986).

Os SAF's se destacam entre as técnicas de restauração florestal pois possibilitam a inclusão simultânea do componente arbóreo com plantas de outros hábitos de crescimento, incluindo espécies de interesse agrícola. Essa interação promovida pelos sistemas biodiversos podem favorecer processos ecológicos sinérgicos, acelerando o desenvolvimento das espécies arbóreas nativas e suportando o aumento da atividade biológica do solo.

Um dos desafios centrais em projetos de restauração ambiental é superar os filtros impostos pelas condições ambientais da área a ser recuperada. O desenvolvimento da comunidade vegetal plantada, medido por indicadores como diâmetro, altura e volume, desempenha um papel crucial nesse processo. A formação de dossel vegetativo contribui para atenuar os impactos de fatores adversos, como luz solar intensa, variações extremas de temperatura e baixa umidade do ar. Essa cobertura vegetal cria ambiente propício para o estabelecimento e crescimento das mudas e/ou sementes, ampliando as possibilidades de sucesso da restauração ambiental (BRANCALION et al., 2015).

Pesquisas recentes, como o estudo de Duran-Bautista et al., (2023) indicam que a intensificação do uso da terra com práticas agrícolas inadequadas aliadas ao monocultivo e desmatamento acarretam a redução da diversidade taxonômica e impactam na composição macro invertebrada do solo. Evidências demonstram que a conversão de florestas primárias em pastagem causa a diminuição da riqueza e abundância da macrofauna edáfica. O funcionamento adequado do solo depende, portanto, da complexa rede de interações entre os elementos químicos, físicos e biológicos do solo e a comunidade vegetal (KHANGURA et al., 2023). Nesta linha.

além do microclima produzido pelos SAF's biodiversos, a maximização do aporte de material vegetal e a intensificação dos processos ecológicos beneficia a atividade biológica, as funções do solo e suas propriedades químicas.

Sendo assim, é importante investigar como sistemas agroflorestais impactam em termos de atributos físico-químicos do solo, nos aspectos dendrométricos dos componentes arbóreos e na macrofauna edáfica, visando caracterizar e entender as interações ecológicas e a dinâmica de diferentes SAF's na relação solo-planta no contexto da restauração florestal. A partir dessas informações, é possível promover práticas de manejo que favoreçam a produção agrícola e a conservação ambiental em equilíbrio.

## 2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

Tem-se como hipóteses:

- i) A alta densidade de cultivo e a diversidade de espécies promovida pelos sistemas agroflorestais tem um efeito positivo na qualidade do solo, refletindo na similaridade de seus atributos químicos com áreas de floresta;
- ii) Os atributos dendrométricos das espécies arbóreas nativas irão variar entre os sistemas agroflorestais em função das diferenças de composição e técnicas de manejo;
- iii) A macrofauna edáfica será influenciada positivamente (diversidade e abundância) devido as semelhanças estruturais e funcionais ao ecossistema natural florestal, a formação de micro-habitats, ao aumento do número de espécies e ao maior aporte de material orgânico que suportam a vida da pedofauna.

Diante do exposto na literatura atual, este estudo teve como objetivo caracterizar como os sistemas agroflorestais respondem e/ ou impactam nos atributos físico-químicos do solo, nos atributos dendrométricos de espécies arbóreas e na macrofauna edáfica. Estes atributos foram comparados a um fragmento florestal local, considerado como área de referência de floresta remanescente.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Contextualização

Para efetivar os processos de reparação e compensação oriundo do rompimento da barragem de rejeitos de mineração ocorrido em Mariana foi firmado um Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado em 2 de março de 2016. As partes envolvidas nesse acordo foram a Empresa Samarco Mineração S.A., os governos dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, seus órgãos ambientais, a defensoria pública da união e os representantes da sociedade civil. O objetivo central do TTAC foi estabelecer diretrizes e ações para a reparação dos danos causados pelo rompimento, tanto no âmbito socioeconômico quanto no ambiental.

Os Programas ligados ao eixo socioeconômico têm como propósito a recuperação das comunidades afetadas, incluindo o reassentamento de famílias, a reconstrução das infraestruturas e a promoção de ações de desenvolvimento local. Já os Programas do eixo ambiental visam a recuperação e a mitigação dos impactos ambientais, por meio de ações como a revitalização de nascentes, a recomposição de vegetação nativa em áreas degradadas, monitoramento da qualidade da água, entre outras medidas.

A recuperação de áreas degradadas, por meio da recomposição de vegetação nativa e da realização de práticas de restauração ecossistêmica estão alinhadas com o Código Florestal Brasileiro, que estabelece a obrigatoriedade de manutenção e recuperação das áreas de preservação permanente (APPs) e Reserva Legal (RL), bem como a adoção de práticas sustentáveis de uso do solo.

Os dois principais Programas ligados a reparação ambiental são os Programas 26 e 27. O primeiro denominado Recuperação de Áreas de Recarga Hídrica e Áreas de Preservação Permanente (PG26) tem como meta a restauração de 40 mil hectares em 10 anos. O segundo é denominado Programa de Recuperação de Nascentes (PG27) e tem como meta recuperar 5 mil nascentes no mesmo período.

Entre os métodos e técnicas de recomposição da vegetação nativa previstas nos Programas 26 e 27, destacam-se as metodologias assistida e ativa. A metodologia assistida é recomendada para cenários de fragmento florestal de estágio inicial ou áreas

de fragmento florestal em formação, que apresentem médio ou alto potencial de regeneração, determinado a partir do número de indivíduo regenerante arbustivo-arbóreo nativo por hectare. Dentre as técnicas de restauração prevista para metodologia assistida se destacam a Condução da Regeneração Natural (CRN) com manejo de espécies, a CRN com adensamento, a CRN com enriquecimento e a CRN com enriquecimento e adensamento.

A metodologia ativa é recomendada a ser implantada em cenários onde o potencial de regeneração natural está caracterizado como baixo, sendo determinado a partir do número de indivíduo regenerante arbustivo-arbóreo nativo inferior a 800 por hectare. Nesse caso, o método ativo prevê a implantação inicial de, no mínimo, 1667 indivíduos nativos por hectare. Dentre as técnicas da metodologia ativa estão o Plantio Total (escalonado e não escalonado), a semeadura direta de sementes e os Sistemas Agroflorestais.

Para execução dos projetos de restauração foram definidos os territórios de abrangência e as áreas de priorização, de acordo com grau de impacto decorrente do rompimento. Foi considerado “diretamente impactada” todas as áreas limítrofes a calha do Rio Doce. Já as áreas pertencentes a bacia, mas que não tem contato direto com a calha, foram consideradas como “indiretamente impactadas”.

Dentre os diversos territórios impactados há também áreas de Reforma Agrária ligados ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Para execução da restauração em áreas de assentamento no Estado de Minas Gerais foi criado o Programa Popular de Agroecologia do Vale do Rio Doce (PAVRD). Entre outros objetivos o PAVRD prevê a restauração florestal de 2 mil hectares em 7 assentamentos. Nestas áreas destaca-se os SAF's como uma importante estratégia de restauração devido ao tamanho limitado dos imóveis rurais e, portanto, a necessidade de uso múltiplo do solo.

Além dos SAF's potencializarem a adesão aos Programas de restauração por possibilitar o uso múltiplo, a restauração florestal associada a produção agrícola promove a participação efetiva dos proprietários e beneficiários nos processos de implantação e manejo de seus projetos de restauração. Essa participação ativa eleva o engajamento do produtor e a sensibilização quanto a temática ambiental, fator primordial para assegurar a sucesso das ações de restauração ao longo dos anos.

O PAVRD está em execução desde setembro de 2019. Até o início da pesquisa, ocorrido no segundo semestre de 2021, haviam sido implantados cerca de 7 hectares de SAF's em 4 assentamentos do Vale do Rio Doce. Para o estudo foram selecionados 4 SAF's implantados no Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira, localizado em Jampruca - Minas Gerais.

A implantação dos SAF's selecionados ocorreu entre novembro de 2019 a março de 2020. Após o plantio as atividades de manutenção tiveram que ser interrompidas devido a pandemia de *SARS-CoV-2* e, até a etapa de execução de campo deste estudo, não haviam sido retomadas. Os SAF's foram conduzidos neste período exclusivamente pelas famílias beneficiárias, de acordo com seu interesse produtivo, conhecimento técnico, mão de obra disponível e disponibilidade de insumos, ferramentas e máquinas.

A composição botânica e o arranjo de cada SAF foi determinado em função de vários critérios, incluindo a conformidade com indicadores específicos dos PG26 e PG27. A meta dos indicadores ecológicos dos Programas é atingir, após 6 anos de implantação, predominância de espécies arbóreas nativas regionais acima de 50%, cobertura de dossel igual ou superior a 80%, riqueza mínima de 10 espécies nativas lenhosas, perenes e de ciclo longo por hectare e estratificação com presença tanto de componentes arbóreos quanto herbáceos ou arbustivos.

Além disso, a diversidade funcional, a estratégia de produção alinhada com as cadeias produtivas regionais, o interesse e a aptidão das famílias beneficiárias e a disponibilidade de mudas e sementes nos viveiros locais também influenciaram na escolha da composição botânica de cada SAF.

### **3.2 Questão ambiental na atualidade**

A prática da agricultura implica na simplificação dos ecossistemas, resultando na substituição da biodiversidade natural por um número reduzido de plantas e organismos cultivados. Nesse contexto, é importante reconhecer que os seres humanos são parte integrante das comunidades biológicas e, ao buscar condições para sua própria sobrevivência, inevitavelmente afetam os recursos bióticos e abióticos disponíveis no ambiente. É fundamental entender e delimitar o nível ou escala admissível do impacto

decorrente da ação humana. Compreender esses limites e desenvolver ações adaptativas adequadas é um desafio fundamental na era antropocênica.

A monocultura em larga escala é um exemplo de ecossistema artificial que requer intervenção humana contínua (ALTIERI, 2012). A simplificação e intensificação gerada pelos sistemas de produção agrícola contemporâneos, com ênfase na especialização e uso de altas quantidades de insumos externos para manter níveis produtivos estáveis, resulta comumente em impactos ambientais negativos, tais como a degradação da capacidade produtiva, redução da diversidade da biota do solo e o aumento dos custos de produção, aumentando a vulnerabilidade dos agricultores com poucos recursos às flutuações do mercado (PARAMESH et al., 2022).

As mudanças climáticas estão afetando negativamente a produtividade das culturas em escala global, devido à redução das chuvas (KHANGURA et al., 2023). Paramesh et al., (2022) estudando a monocultura em agroecossistemas irrigados na Índia, onde há a adoção generalizada da sucessão de culturas (sistema arroz-trigo, arroz-milho, arroz-arroz etc.) demonstra que tal prática afeta também a biologia do solo, causando erosão genética, esgotando a disponibilidade de águas subterrâneas, acarretando vários problemas ambientais.

As consequências das mudanças climáticas no setor agrícola têm impactos significativos na produção de alimentos, nos meios de subsistência e na economia global, especialmente em países em desenvolvimento cujas economias dependem da agricultura (PRAVEEN; SHARMA, 2019). O declínio das chuvas devido às mudanças climáticas está tendo um impacto adverso na produtividade das culturas em todo o mundo (KHANGURA et al., 2023).

Os sistemas agrícolas orgânicos e sustentáveis desempenham um papel importante na minimização dos impactos advindos da crise climática devido à redução das emissões agrícolas de gases de efeito estufa (GEE) por meio de estratégias como conservação de energia, redução do uso de insumos à base de carbono, diminuição do uso de fertilizantes sintéticos e outras práticas que minimizam as emissões de GEE e promovem o sequestro de carbono no solo (PRAVEEN; SHARMA, 2019). Os SAF's se destacam entre esses sistemas pois possibilitam a geração de produtos agrícolas concomitante com a redução das emissões de GEE.

O estudo conduzido por Martinelli et al. (2019) sobre diferentes Sistemas Agroflorestais e seus impactos ambientais ao longo do ciclo de vida revelou valores negativos em relação às emissões de gases de efeito estufa. Os resultados reforçam a capacidade dos SAF's biodiversos de mitigar as emissões desde as fases iniciais e alcançar um armazenamento positivo de carbono ao longo de seu ciclo de vida.

A agrofloresta é amplamente promovida como um caminho potencial para ajudar nos efeitos das mudanças climáticas por meio da resiliência e diversificação do sistema (CASTLE et al., 2022). Integra uma fração da chamada Agricultura Regenerativa, onde a estratégia é baseada em um conjunto de princípios orientadores, em que os profissionais usam diversas táticas de integração entre os processos biológicos e ecológicos, objetivando aumentar a produção e restaurar a funcionalidade da paisagem através da maximização dos processos ecológicos dentro do sistema agrícola (KHANGURA et al., 2023).

A agrossilvicultura apresenta potencial significativo para integrar a transformação necessária no setor agrícola, diante das crises climáticas e de biodiversidade. Em diversas economias desenvolvidas, o crescente interesse em sistemas agroflorestais surge em resposta às metas de neutralidade de carbono estabelecidas para o setor agrícola, a demanda por uma recuperação econômica sustentável após os impactos da pandemia de COVID-19, e as crescentes metas de mitigação às mudanças climáticas (ABDUL-SALAM; OVANDO; ROBERTS, 2022).

### **3.3 Sistemas Agroflorestais: conceitos, importância e etapa histórica**

A agrofloresta, juntamente com o manejo florestal, é uma das várias alternativas viáveis ao manejo insustentável dos recursos naturais que tem sido proposta para os ecossistemas de florestas tropicais (ATANGANA et al, 2014). Devido à complexidade e especificidades, é possível encontrar na literatura atual definições amplas e diversas, que variam em função dos diferentes arranjos espaciais e/ou temporais.

De acordo com a definição mais aceita na literatura proposta pelo *International Centre for Research in Agroforestry* (ICRAF), agrofloresta ou agrossilvicultura é um nome coletivo para sistemas e tecnologias de uso da terra onde plantas perenes lenhosas são deliberadamente usadas na mesma unidade de manejo da

terra com culturas agrícolas e/ou animais, em alguma forma de arranjo espacial ou sequência temporal, onde ocorrem interações ecológicas e econômicas entre os diferentes componentes .(VAN NOORDWIJK, et al, 2019; SCHEMBERGUE et al., 2017).

Os sistemas agroflorestais abrangem diversas práticas e arranjos, que vão desde a presença esporádica de árvores em áreas de pastagem ou lavoura até sistemas complexos de florestas alimentares com múltiplos estratos e uma grande variedade de espécies. Em uma propriedade agrícola, por exemplo, é possível encontrar uma combinação de diferentes práticas agroflorestais, as quais se interligam para formar sistemas agroflorestais mais complexos. Essa diversidade pode ter impactos variados nos serviços ecossistêmicos e no bem-estar humano, em diversas escalas, da fazenda a paisagem (CASTLE et al., 2022).

Diante da diversidade de conceitos e arranjos existentes na literatura, há margem para designar como sistema agroflorestal sistemas simplificados de produção agrícola que não abrangem aspectos fundamentais dos SAF's biodiversos. Atangana et al. (2014) descrevem algumas características essenciais como o aumento da produtividade agrícola de forma sustentável, a conservação das funções ecológicas dos ecossistemas, a participação ativa dos *stakeholders* ao longo do processo de desenvolvimento e a simplicidade e robustez das tecnologias utilizadas. A inclusão da questão social no SAF é elemento essencial para diferenciar simples sistemas orgânicos de sistemas agroflorestais complexos e biodiversos.

Atualmente a agrofloresta tem sido reconhecida no âmbito científico como estratégia de uso da terra capaz de enfrentar os desafios impostos pela mudança climática global, ao mesmo tempo em que proporciona uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais (BROWN et al., 2018). O potencial da agrofloresta vai além da simples produção de alimentos, abrangendo a melhoria da segurança alimentar, a promoção da qualidade da água, o combate às mudanças climáticas e à perda de biodiversidade, bem como a redução da pobreza. Essa abordagem multifuncional oferece oportunidade valiosa para avançar nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU (WALDRON et al., 2017).

Segundo Freitas et al. (2018), o cultivo consorciado de espécies agrícolas e florestais promove o aumento da diversidade biológica, resultando na formação de uma estrutura florística comparável à encontrada em florestas nativas. Essa prática também contribui para o incremento da matéria orgânica, biomassa microbiana e propriedades físico-químicas do solo, tais como a alta reatividade das frações húmicas. Os sistemas agroflorestais fornecem uma série de benefícios para novos modelos de cultivo e podem contribuir na mitigação de impactos de uma gestão ambiental insustentável enquanto fornecem meios de subsistência locais significativos. Os resultados obtidos por Martinelli et al. (2019) confirmam a importância dos SAF's para os agricultores familiares no fornecimento de alimentos, forragens e outros serviços ecossistêmicos.

No passado, muitas análises econômicas de sistemas agroflorestais não consideraram adequadamente o efeito desestimulante decorrente da natureza relativamente irreversível do plantio de árvores e da falta de flexibilidade após a tomada de decisões. Isso é agravado pelo longo ciclo de produção florestal em um contexto em que os retornos anuais são a norma e a incerteza em relação aos preços futuros influencia as decisões de uso da terra (ABDUL-SALAM; OVANDO; ROBERTS, 2022).

Estudos sobre a dimensão econômica dos SAF's vem avançando na atualidade, explorando os desafios de consolidação em larga escala, as potencialidades do amplo conjunto de técnicas agrícolas e os limites de adesão pelos proprietários rurais. Através de estudos com modelos de opções reais para entender os limites de adoção e não adoção de SAF's, Abdul-Salam, Ovando e Roberts (2022) sugerem que mesmo quando há uma tributação das emissões provenientes da pecuária e um benefício decorrente do sequestro de carbono, a incerteza e a irreversibilidade associadas à transição para sistemas agroflorestais tornam a decisão de adoção abaixo do ideal. E concluem que são necessárias políticas econômicas que subsidiem os custos de implantação destes sistemas e o incentivo da política de preços relacionados ao mercado de carbono afim de superar os limites de adesão.

É importante ressaltar que, do ponto de vista econômico, a diversificação da produção agrícola nos sistemas agroflorestais proporciona maior produtividade e eficiência do trabalho, além de garantir uma renda mais estável para os agricultores a curto e longo prazo. Além disso, essa diversificação tem um impacto positivo na

segurança alimentar, permitindo uma variedade de produtos disponíveis para consumo (SCHEMBERGUE et al., 2017).

A revisão da literatura realizada por Paramesh et al., (2022) demonstra a importância dos Sistemas Agroflorestais no manejo eficiente dos recursos disponíveis em nível de fazenda, promovendo renda e emprego para comunidades rurais de baixa renda, além de proteger o meio ambiente e garantir a segurança alimentar. Apontam também que é crucial explorar as interações sinérgicas entre os componentes dos sistemas agrícolas para aumentar a eficiência no uso de recursos e promover a reciclagem de subprodutos agrícolas.

Ollinaho & Kröger (2021) destacam que o conceito de agrofloresta ou agrossilvicultura é ambíguo e carece de uma definição clara, pois há uma ampla variedade de práticas agroflorestais sendo implementadas globalmente. Os autores realizam uma revisão sobre o tema e classificam os sistemas agroflorestais em 3 categorias: o bom, o mal e o feio. Ao abordar as boas práticas agroflorestais, destacam que é essencial enfatizar práticas biofísicas que promovam a biodiversidade e os ecossistemas do solo, ao mesmo tempo em que aumentem progressivamente a idade média das culturas perenes.

A avaliação da qualidade dessas transições agroflorestais requer uma análise empírica dessas práticas no contexto em que ocorrem, considerando sua história e o ponto de partida das transições. Além disso, é crucial reconhecer a vulnerabilidade das florestas primárias sob a influência da agricultura industrial, silvicultura industrial e paradigmas extrativistas. Nesse contexto, é fundamental abordar a dimensão sociopolítica da agrofloresta e realizar uma avaliação abrangente e conceitualmente fundamentada das práticas agroflorestais (OLLINAHO; KRÖGER, 2021).

Nesse sentido, a busca por sistemas agrícolas capazes de melhorar a qualidade do solo, conservar os recursos naturais e ao mesmo tempo manter a produtividade são cada vez mais importantes (LU et al., 2015; SCHEMBERGUE et al., 2017).

### 3.4 SAF's como alternativa para recomposição de áreas degradadas

A Lei Federal 12.651/2012, também conhecida como o Novo Código Florestal Brasileiro, estabelece normas gerais para a proteção da vegetação nativa e introduz o Programa de Regularização Ambiental (PRA). Essa lei tem como objetivo, entre outros, fornecer diretrizes legais que permitem a busca de alternativas ao modelo convencional de recuperação ambiental, visando conciliar a conservação dos recursos naturais com as atividades econômicas sustentáveis (BRASIL, 2012).

O modelo convencional de recuperação ambiental é comumente caracterizado pela aplicação de projetos de restauração que utilizam exclusivamente espécies nativas do bioma em questão, sem considerar a possibilidade de implantação de espécies que possuem outros fins além do objetivo ambiental inicial (MARTINS et al., 2019). No entanto, é importante destacar que essa abordagem pode ser limitada, especialmente quando se trata de pequenos imóveis rurais, devido aos custos envolvidos e à fragmentação territorial.

A combinação de espécies arbustivo-arbóreas nativas com espécies de interesse econômico nos sistemas agroflorestais pode ser uma alternativa estimulante para a restauração florestal. De acordo com Martins et al., (2019), isso se torna especialmente relevante em áreas de Preservação Permanente ou Reserva Legal, onde há restrições legais ao monocultivo e a restauração é frequentemente realizada por meio do plantio exclusivo de espécies florestais nativas, muitas das quais não possuem viabilidade econômica.

É fundamental alterar esse entendimento e reconhecer o sistema agroflorestal como uma estratégia que reduz os custos da restauração, contribuindo para a regularização ambiental das propriedades. Além de proporcionar retornos econômicos diretos, o cultivo de culturas agrícolas nas entrelinhas, dentro de um plano de manejo adequado, também diminui o custo geral de manutenção das espécies florestais nativas (LELES; OLIVEIRA NETO; ALONSO, 2015; MARTINS et al., 2019).

Os sistemas agroflorestais desempenham papel fundamental na promoção de práticas agrícolas sustentáveis, oferecendo uma série de serviços e benefícios que podem mitigar os impactos negativos de técnicas agrícolas insustentáveis. Esses sistemas se destacam pela sua capacidade de aumentar a cobertura do solo, otimizar a ciclagem de nutrientes, preservar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, ao

mesmo tempo em que fornecem recursos essenciais para subsistência, como alimentos, fibras e madeira, impactando positivamente as comunidades locais (FREITAS et al., 2018).

Com o aumento do aporte de matéria orgânica ao longo dos ciclos de cultivo produzido pelos SAF's, há uma evolução favorável dos atributos físico-hídricos como porosidade e densidade, resultando em um funcionamento hídrico mais eficiente. Os resultados de SHISO TOMA et al., (2013) demonstram o potencial dos SAF's em melhorar ou manter os atributos físico-hídricos do solo, reduzindo o risco de formação de enxurradas e erosão. Além disso, sistemas agroflorestais complexos restabelecem processos ecológicos, funções e estrutura de um ecossistema, contribuindo para a restauração e conservação dos recursos naturais e para a melhoria da condição de vida dos agricultores, ao passo que promove retorno econômico (Miccolis et al., 2016).

Assim, os SAF's desempenham um papel crucial na proteção do solo e na recuperação de áreas degradadas (MASCARENHAS et al., 2017). Esses sistemas contribuem para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo e estimulam a atividade microbiológica devido à maior incorporação de matéria orgânica no sistema (PEZARICO et al., 2013). Os SAF's, portanto, desempenham um papel duplo, promovendo a produção sustentável e a conservação ambiental, tornando-se uma estratégia eficaz para a restauração de áreas degradadas e a manutenção da qualidade do solo.

### **3.5 SAF's, sua dinâmica e dendrometria**

Os atributos dendrométricos do componente arbóreo se referem às características específicas das árvores e são medidas quantitativas utilizadas para descrever aspectos do crescimento, tamanho e estrutura das árvores. Esses atributos são fundamentais para avaliar e compreender a dinâmica das florestas e dar suporte a tomada de decisão no manejo florestal. Os atributos comumente avaliados são Diâmetro a Altura do Peito (DAP), Altura (h), Volume (V) e Área Basal (AB) etc.

No contexto da restauração florestal, o conhecimento e a avaliação das características dendrométricas das espécies arbóreas são cruciais para planejar, implementar e monitorar com sucesso os projetos de restauração. Isso contribui para a

restauração de ecossistemas resilientes e funcionais, com benefícios para a biodiversidade, a mitigação das mudanças climáticas e a qualidade do solo e da água.

A intrínseca presença das árvores em SAF's voltados a restauração florestal trás diversos benefícios ao ecossistema local. Martins et al., (2018) descreve que o componente arbóreo contribui e potencializa a ciclagem de nutrientes, tanto pela absorção de nutrientes dos perfis mais profundos do solo devido seu sistema radicular robusto, quanto pela decomposição de serapilheira, que no processo de decomposição disponibiliza nutrientes e exerce um papel importante na atividade da fauna edáfica e no armazenamento de carbono no solo.

De acordo com Ribeiro et al. (2018), a presença de espécies arbóreas em SAF's pode elevar o teor matéria orgânica e promover a fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas. Por sua vez, a altura e o diâmetro das árvores são fatores importantes na determinação do volume de gás carbônico acumulado e na produção de serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima e a conservação da biodiversidade (PEREIRA et al., 2019).

Segundo Achmad et al., (2022), na agrofloresta as árvores aprimoram a qualidade do solo por meio de três processos principais: enriquecimento com nutrientes devido à fixação de nitrogênio, aumento dos nutrientes do solo graças à decomposição da biomassa das árvores (como folhas e galhos), e captação de nutrientes pelas raízes profundas das árvores. Esses processos estabelecem um ciclo de nutrientes no sistema agroflorestal.

Além disso, há também efeitos positivos em termos ecológicos. Segundo Schembergue et al., (2017), observa-se que a incorporação de espécies arbóreas em SAF's contribui para a restauração de terras degradadas, ao minimizar a erosão e promover o acúmulo de matéria orgânica. Essa distinção é notável quando comparada às monoculturas, onde a depleção da fertilidade do solo ocorre em um ritmo mais acelerado.

Os indivíduos arbóreos nos SAF's, com seus incrementos em altura e diâmetro promovem um equilíbrio entre as práticas de cultivo e a contínua entrada de material orgânico, fazendo com que a decomposição da MOS ocorra em uma taxa mais constante. Esse equilíbrio é uma estratégia complementar que desempenha um papel fundamental na conservação da matéria orgânica no solo (ACHMAD et al., 2022).

A medição das árvores visa, estabelecer a estrutura das populações e a importância relativa entre as espécies na comunidade, com base no porte, no número e na distribuição dos indivíduos, além de caracterizar a forma de ocupação do espaço vertical (estratificação) e horizontal (agregação) pelas espécies. O objetivo da dendrometria na experimentação é comparar as espécies ou tratamentos em termos de volume de madeira comercial (florestas de produção) ou eficácia na proteção ao ambiente (florestas de proteção), a partir de variáveis diretamente quantificáveis (SOBRINHO et al., 2020).

No caso de plantios experimentais de proteção, a avaliação dendrométrica deve ser acompanhada de medições de caráter ecológico, tais como: deposição de folheto, ciclagem de nutrientes, contenção de processos erosivos etc., de modo que se possa avaliar efetivamente o papel das árvores como elementos de proteção e melhoria da qualidade ambiental. É oportuno lembrar ainda que, dada a sazonalidade do crescimento das espécies arbóreas tropicais, as medições devem ser efetuadas após o período de crescimento vegetativo intenso, que ocorre na estação chuvosa, evitando assim erros de interpretação de taxas de incremento (SOBRINHO et al., 2020).

O conhecimento dos atributos dendrométricos em SAF's de restauração florestal contribuem, portanto, para avaliar e compreender a dinâmica das espécies em diferentes sistemas, a seleção das espécies, o planejamento do arranjo espacial e temporal, os parâmetros de monitoramento etc. Além de contribuir com a pesquisa e a tomada de decisões quanto a questões relacionadas a ecologia florestal e conservação.

### **3.6 Macrofauna edáfica como bioindicador de qualidade de manejo dos SAF's**

A macrofauna edáfica se refere a um grupo de organismos que vivem no solo, são visíveis a olho nu ou com uso de lentes simples e possuem tamanho superior a 2 milímetros. Esses organismos desempenham papéis fundamentais nos ecossistemas terrestres e sua ação biológica está ligada a ocorrência de diversas funções ecológicas cruciais, incluindo a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a aeração do solo (construção de galerias) etc.

O grupo da macrofauna é extremamente diversificado e inclui uma grande variedade de grupos taxonômicos, como insetos, aracnídeos, moluscos e anelídeos. Os principais grupos taxonômicos incluem besouros, formigas, cupins, minhocas, aranhas,

entre outros. Esses organismos exercem funções interconectadas e impactam significativamente na resiliência dos ecossistemas terrestres.

Os organismos do solo podem ser categorizados com base no tamanho do corpo, categorizada em quatro grupos principais. Esses grupos incluem a microfauna (<0,2 mm), a mesofauna (0,2 mm a 4 mm), a macrofauna (4 mm a 80 mm) e a megafauna (>80 mm) (BROWN et al., 2015). Cada grupo desempenha funções específicas nos processos ecossistêmicos, refletindo a complexidade das interações no subsolo e destacando a importância de cada tipo de organismo na manutenção da funcionalidade do solo.

A macrofauna edáfica é considerada como um bioindicador de qualidade do solo pois é sensível as mudanças ambientais (compactação, contaminação, degradação), possuem resposta rápida (respondem rapidamente tanto a condições de melhoria quanto a degradação do solo), interagem com outros grupos de organismos (microrganismos) e são fortemente influenciados pelas diferentes práticas de manejo.

São várias as pesquisas disponíveis na literatura que explicam como as práticas de manejo influenciam a macrofauna direta e indiretamente. Os diferentes sistemas de manejo agrícola impactam as propriedades do solo, como o teor de água, a temperatura, a incorporação de resíduos culturais, assim como o ambiente físico e químico, resultando em modificações na dinâmica da pedofauna. No entanto, a avaliação do impacto das práticas de manejo agrícola sobre os invertebrados do solo ainda representa um desafio (FIALHO et al., 2021).

A estrutura do solo e sua atividade biológica podem ser diretamente relacionadas a qualquer alteração no solo, ocasionando reflexos em sua fertilidade, podendo causar prejuízos a sua qualidade e a produtividade. O entendimento do impacto dos diferentes manejos do solo sob a comunidade macro invertebrada é importante para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DA SILVA et al., 2015).

O uso inadequado de técnicas agrícolas ocasiona a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas, como a compactação, diminuição da fertilidade, a rápida decomposição da matéria orgânica e sua diminuição em quantidade e diversidade da microbiota do solo (IWATA et al., 2012). Por sua vez, o impacto negativo na microbiota pode afetar a ciclagem de carbono e nutrientes, modificar a

estrutura do solo e a capacidade de retenção de água e contribuir para a prestação de vários serviços ecossistêmicos (PRINANDHIKA et al., 2023).

Segundo Asfaw & Zewudie (2021) diversas pesquisas anteriores evidenciaram as funções ecológicas desempenhadas pela macrofauna e a importância fundamental para a qualidade do solo e do ecossistema terrestre em geral. Em resumo, estão ligadas a diversos processos como: decomposição da serrapilheira, redução da densidade aparente, aumento da porosidade do solo, a bioturbação (homogeneização dos horizontes do solo), melhoria da aeração e drenagem, incremento da capacidade de retenção de água do solo, ciclagem de nutrientes (escavação, decomposição e excreção) e na formação de agregados do solo. Devido a capacidade de moldar e melhorar o ambiente, criando condições propícias para a vida vegetal e animal, esses organismos são chamados de “engenheiros do ecossistema”.

De acordo com a revisão de literatura realizada por Khangura et al., (2023) a intensificação das práticas agrícolas resulta na diminuição dos grupos funcionais da macrofauna, comprometendo as suas funções essenciais. No entanto, segundo os autores, estratégias conservacionistas na agricultura, como a rotação de culturas, a aplicação adequada de fertilizantes, a adoção de práticas de manejo de solo mínimo e o cultivo de cobertura, contribuem para a melhoria ou preservação da qualidade do solo. Isso é fundamental para garantir uma produção agrícola sustentável, uma vez que essas práticas regulam as comunidades microbianas presentes no solo.

Em sistemas de cultivo biodiversos, como os SAF's, a maior diversidade pode impactar benéficamente a macrofauna do solo. O estudo desenvolvido por Villanueva-López et al. (2019) demonstrou que existe uma alta correlação entre a conservação da biodiversidade em macroartrópodes e a riqueza de espécies vegetais da paisagem. Seus resultados indicam que sistemas agroflorestais com maior riqueza de espécies vegetais são importantes estratégias de produção agrícola que potencializam a diversidade e a conservação dos macroartrópodes do solo.

Além das práticas agrícolas, a macrofauna edáfica é influenciada por outros fatores como temperatura e precipitação. A temperatura, sobretudo do solo, tem uma influência significativa na atividade da macrofauna. Temperaturas altas geralmente aceleram as atividades metabólicas dos organismos do solo, levando a uma maior atividade e reprodução.

A precipitação e a disponibilidade de água no solo são essenciais para a sobrevivência da macrofauna. A redução de água disponível pode levar a redução da atividade metabólica e até a hibernação de determinados organismos. Entretanto, diferentes grupos funcionais podem responder de maneira diferente aos fatores ambientais. Minhocas e besouros preferem solos úmidos, enquanto outros organismos, como determinadas espécies de formigas, podem ser mais tolerantes ao clima seco.

No monitoramento da qualidade do solo é fundamental identificar os atributos sensíveis ao manejo e que atuem como indicadores de qualidade. A macrofauna desempenha um papel importante nesse quesito. Análises que consideram a sensibilidade desse grupo de organismos a mudanças na cobertura florestal e práticas de manejo podem auxiliar na identificação de melhores estratégias para adoção de sistemas de cultivo sustentáveis e resilientes (MELLONI et al., 2018; FIALHO et al., 2021).

Sendo assim, no contexto da restauração florestal, a macrofauna edáfica desempenha um papel fundamental pois contribui para a recuperação da qualidade do solo, com a revitalização da vegetação e fortalecimento da biodiversidade. Portanto, considerar e promover a presença desses organismos é vital para o sucesso dos projetos de restauração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-SALAM, Y.; OVANDO, P.; ROBERTS, D. Understanding the economic barriers to the adoption of agroforestry: A Real Options analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 302, 15 jan. 2022.

ACHMAD, B. et al. **Traditional Subsistence Farming of Smallholder Agroforestry Systems in Indonesia: A Review. Sustainability (Switzerland)**MDPI, , 1 jul. 2022.

ASFAW, A.; ZEWUDIE, S. Soil macrofauna abundance, biomass and selected soil properties in the home garden and coffee-based agroforestry systems at Wondo Genet, Ethiopia. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 12, 1 dez. 2021.

BROWN, S. E. et al. Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: A systematic map protocol. **Environmental Evidence**, v. 7, n. 1, 29 out. 2018.

CASTLE, S. E. et al. Evidence for the impacts of agroforestry on ecosystem services and human well-being in high-income countries: a systematic map. **Environmental Evidence**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2022.

CPRM. **Monitoramento Especial do rio Doce - Relatório 2**. [s.l: s.n.].

DA SILVA, G. F. et al. Soil quality indicators under different land use systems in the Agreste region of Paraíba, Brazil. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25–35, 5 set. 2015.

DE IWATA, B. F. et al. **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>.

DURAN-BAUTISTA, E. H. et al. Agroforestry systems generate changes in soil macrofauna and soil physical quality relationship in the northwestern Colombian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 5, p. 927–938, 1 jun. 2023.

FIALHO, J. S. et al. Pedofauna diversity in traditional and agroforestry systems of the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, 1 jan. 2021.

FOONG, S. Y. et al. The nexus between biofuels and pesticides in agroforestry: Pathways toward United Nations sustainable development goals. **Environmental Research**, v. 214, 1 nov. 2022.

FREITAS, W. K. DE et al. Teor de nutrientes do solo e fitossociologia de plantas em sistemas agrofloretais do planalto do Estado do Rio de Janeiro , Brasil Os AS fornecem Papilionideae e Mimosoideae segundo Magalhães e Freitas ( 2013 ). p. 1–8, 2018.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo\\_tecnico\\_preliminar\\_ibama.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2023.

KHANGURA, R. et al. **Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. Sustainability (Switzerland)**MDPI, , 1 fev. 2023.

MAR, M. G. Prefeitura municipal de jampruca – mg plano municipal de saneamento básico (pmsb) do município de jampruca – mg. 2016.

MARCHINI, D. C. et al. Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 574–580, 2015.

MARSDEN, C. et al. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. **Plant and Soil**, v. 453, n. 1–2, p. 29–44, 1 ago. 2020.

MARTINELLI, G. DO C. et al. Environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil. **World Development**, v. 122, p. 339–348, 1 out. 2019.

MARTINS, E. M. et al. Agroforestry system used for restoration at the atlantic forest. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 2, p. 632–648, 2019.

MASCARENHAS, A. R. P. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19, 31 mar. 2017.

MELLONI, R. et al. Agroforestry system coffee-araucaria and its effect on soil microbiota and their processes. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784–795, 1 abr. 2018.

OLLINAHO, O. I.; KRÖGER, M. Agroforestry transitions: The good, the bad and the ugly. **Journal of Rural Studies**, v. 82, p. 210–221, 1 fev. 2021.

PARAMESH, V. et al. Integrated farming system approaches to achieve food and nutritional security for enhancing profitability, employment, and climate resilience in India. **Food and Energy Security**, v. 11, n. 2, 1 maio 2022.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.

PRAVEEN, B.; SHARMA, P. A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity. **Journal of Public Affairs**, v. 19, n. 4, 1 nov. 2019.

PRINANDHIKA, G. M. et al. **Relationship of Macrofauna and Soil Organic Carbon in Various Types of Agroforestry, Sumberejo Village, Batuwarno District, Wonogiri Regency**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...Institute of Physics**, 2023.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, N. S. et al. Grassland management effect on ecosystem services in the livestock system in an oxisol from the Eastern high plains of Colombia. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 11 ago. 2023.

ROUSSEAU, G. X. et al. Shade tree identity rather than diversity influences soil macrofauna in cacao-based agroforestry systems. **Pedobiologia**, v. 89, 1 nov. 2021.

SCHEMBERGUE, A. et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9–30, 2017.

SHISO TOMA, R. et al. **Scientia ForeStaliS Temporal evolution of soil hydro-physical behavior of an agroforestry system on Ribeira Valley-SP**. [s.l.: s.n.].

SIGNORELLI, N. Folha Itambacuri - SE.24-Y-A-I, escala 1:100.000. **Projeto Leste**, 1997.

VAN NOORDWIJK, M. **SUSTAINABLE DEVELOPMENT THROUGH TREES ON FARMS: agroforestry in its fifth decade** Edited by Meine van Noordwijk. [s.l: s.n.].

VILLANUEVA-LÓPEZ, G. et al. Diversity of soil macro-arthropods correlates to the richness of plant species in traditional agroforestry systems in the humid tropics of Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 286, 1 dez. 2019.

WALDRON, A. et al. Agroforestry Can Enhance Food Security While Meeting Other Sustainable Development Goals. **Tropical Conservation Science**, v. 10, 1 ago. 2017.

YANARITA et al. Biodiversity of Soil Macrofauna in Jelutong (*Dyera lowii* Hook.F) based Agroforestry System on Peatlands. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, n. 7, p. 223–230, 2021.

## Capítulo I

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MESORREGIÃO DO VALE DO RIO DOCE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E DENDROMETRIA DE COMPONENTES ARBÓREOS

#### RESUMO

Em 05 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, localizada em Mariana-MG. É considerado um dos eventos de perturbação ambiental em escala sem precedentes na história da mineração no Brasil. Foi assinado um Termo Transitório de Ajustamento de Conduta que prevê a restauração florestal de bacias tributárias do Rio Doce. Entre as técnicas de restauração se destacam os Sistemas Agroflorestais (SAF's). O objetivo deste trabalho foi compreender como modelos de SAF's voltados a restauração florestal influenciam os atributos físico-químicos do solo e os atributos dendrométricos de espécies arbóreas. Foram estudados 04 SAF's (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) implantados em Jampruca-MG e um fragmento florestal local (FFR). Foram avaliados os seguintes atributos químicos: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Fósforo (P), Acidez Potencial (H+Al), Matéria Orgânica (MO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). Também foi analisada a granulometria através dos teores de areia, silte e argila. Os atributos dendrométricos analisados foram Diâmetro a Altura do Peito (DAP), Altura (H), Área Basal (AB) e Volume (V) de 04 espécies arbóreas, sendo *Bixa orellana* L., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Jacaranda macrantha* Cham e *Schinus terebinthifolia* Raddi. Foram utilizados correlogramas com o método de Pearson para analisar correlações entre variáveis, seguido de teste de hipótese para verificar a significância das correlações. Em seguida, foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para análise multivariada das características do experimento. O efeito do tratamento em cada variável foi testado utilizando o teste F da análise de variância. Quando significativo, foi aplicado o teste Tukey a nível de 5% para comparação múltipla entre os níveis do tratamento. O SAF02 apresentou valores estatisticamente superiores para Ca, Mg, K, CTC, SB, V%, Mn e Zn. Não houve diferença estatística na análise granulométrica. Para a espécie *Bixa orellana* L. o DAP foi superior no SAF04, a H nos sistemas SAF02 e SAF03, a AB e V no SAF01, SAF3 e SAF04. Para o

*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong o DAP e a AB foram superiores nos sistemas SAF02 e SAF03, enquanto a H e o V foram superiores no SAF02. Para o *Jacaranda micrantha* Cham. o SAF04 foi superior aos demais sistemas no DAP, AB e V. Para a espécie *Schinus terebinthifolia* Raddi a H foi superior no SAF01 e SAF03 enquanto o V foi superior nos sistemas SAF01 e SAF04. Apesar da semelhança entre a implantação de cada sistema houve diferenças significativas no desenvolvimento inicial dos SAF's implantados para fins de restauração florestal.

**Palavras-chave:** fertilidade, atributos dendrométricos, espécie arbórea, sistema integrado, restauração florestal.

## ABSTRACT

On November 5, 2015, the Fundão dam in Mariana, MG, suffered a breach. It is considered one of the unprecedented environmental disturbance events in the history of mining in Brazil. A Transitional Term of Conduct Adjustment was signed, which includes the forest restoration of tributary basins of the Doce River. Among the restoration techniques, Agroforestry Systems (SAF) stand out. The aim of this study was to understand how SAF models focused on forest restoration influence the physicochemical attributes of the soil and dendrometric attributes of tree species. Four SAF (SAF01, SAF02, SAF03, and SAF04) established in Jampruca-MG and a local forest fragment (LFF) were studied. The following chemical attributes were evaluated: Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Potassium (K), and Phosphorus (P), Potential Acidity (H+Al), Organic Matter (OM), Hydrogen Ionic Potential (pH), Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn), and Zinc (Zn). Soil texture was also analyzed through the contents of sand, silt, and clay. The dendrometric attributes analyzed included Diameter at Breast Height (DBH), Height (H), Basal Area (BA), and Volume (V) of four tree species, namely *Bixa orellana* L., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Jacaranda macrantha* Cham, and *Schinus terebinthifolia* Raddi. Correlograms with the Pearson method was used to analyze correlations between variables, followed by hypothesis testing to verify the significance of the correlations. Next, a Principal Component Analysis (PCA) was performed for multivariate analysis of the experiment's characteristics. The effect of treatment on each variable was tested using the F-test of analysis of variance. When significant, the Tukey test was applied at a 5% level for multiple comparisons between treatment levels. SAF02 showed statistically higher values for Ca, Mg, K, CEC, BS, V%, Mn, and Zn. There was no statistical difference in the granulometric analysis. For the species *Bixa orellana* L., DBH was higher in SAF04, H in SAF02 and SAF03, BA and V in SAF01, SAF03, and SAF04. For *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, DBH and BA were higher in SAF02 and SAF03, while H and V were higher in SAF02. For *Jacaranda micrantha* Cham, SAF04 was superior to the other systems in DBH, BA, and V. For the species *Schinus terebinthifolia* Raddi, H was higher in SAF01 and SAF03, while V was higher in SAF01 and SAF04. Despite the similarity in the implementation of each system, there were significant differences in the initial development of the agroforestry systems established for forest restoration purposes.

**Keywords:** fertility, dendrometric attributes, tree species, integrated system, forest restoration.

## 4 INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de rejeitos de mineração conhecida como Barragem do Fundão, ocorrido no município de Mariana em novembro de 2015, é considerado como um dos maiores eventos de perturbação ambiental da história no Brasil ligado a atividade mineradora (CPRM, 2015). O passivo ambiental advindo do rompimento está sendo compensado através da restauração florestal de nascentes, áreas de preservação permanente e áreas de recarga hídrica distribuídas nas bacias tributárias do Rio Doce.

Entre os métodos e técnicas de restauração, destaca-se a restauração ativa através de Sistemas Agroflorestais (SAF's). Essa técnica é prevista pelo Código Florestal Brasileiro como uma possibilidade de intervenção com objetivo de restauração florestal ou recomposição de áreas degradadas. Inclusive em áreas de preservação permanente.

Os sistemas agroflorestais são considerados uma alternativa viável para a agricultura sustentável e a restauração florestal, pois aliam a produção agrícola com a conservação ambiental. Os SAF's são compostos por diferentes componentes, como culturas agrícolas, espécies arbóreas e animais, que interagem entre si, formando um ecossistema complexo e dinâmico (VAN NOORDWIJK, et al, 2019; BRANCALION et al., 2015).

Dentre os componentes dos SAF's, as espécies arbóreas são fundamentais para o equilíbrio do sistema e a qualidade do solo. Estudos têm demonstrado que essas espécies podem influenciar positivamente nos atributos físicos e químicos do solo, aumentando a biodiversidade e o balanço energético do sistema. Embora práticas de plantio direto ou mínimo possam trazer benefícios relacionados aos nutrientes do solo e ao sequestro de carbono, a presença de árvores em sistemas agroflorestais oferece vantagens adicionais (ACHMAD et al., 2022).

Um dos desafios atuais em áreas degradadas é a avaliação simplificada e confiável da qualidade do solo. Essa avaliação envolve a quantificação de atributos físicos, químicos e biológicos, permitindo o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo da qualidade do solo (MARCHINI et al., 2015). Outro grande desafio relacionado a recuperação de áreas degradadas é compreender como a comunidade

vegetal implantada e a regeneração natural da área se desenvolve nos diferentes contextos de degradação e nas diferentes técnicas de restauração. Compreender a infinidade de interações que ocorrem entre esses sistemas é fundamental para a consolidação de projetos de restauração adaptados aos diferentes cenários de degradação existentes.

Para um projeto de restauração bem-sucedido, é essencial escolher as espécies arbóreas adequadas às condições do local. As características dendrométricas, como a taxa de crescimento, a altura, o volume, a área basal, a tolerância à sombra etc., ajudam a determinar quais espécies são mais apropriadas para alcançar os objetivos de restauração em determinada área. O conhecimento das características dendrométricas das espécies arbóreas é fundamental para planejar o arranjo espacial, que influencia diretamente a competição, o desenvolvimento do dossel e a capacidade do ecossistema restaurado de desempenhar suas funções ecológicas (BRANCALION et al., 2015).

Trabalhos com atributos dendrométricos, em geral, são mais relacionados com espécies introduzidas, de rápido crescimento, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Para as espécies nativas muitas vezes há poucas informações relativas à ecologia, silvicultura e biometria. Além disso, os atributos dendrométricos, tais como a altura, diâmetro e volume das árvores, também são importantes indicadores da produtividade e do potencial de serviços ecossistêmicos dos SAF's.

Fundamentado na importância ambiental dos SAF's em recuperar áreas degradadas aliado a produção agrícola e na urgência de adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis (FOONG et al., 2022) objetivou-se com este trabalho caracterizar os efeitos de Sistemas Agrofloretais nos atributos físico-químicos e nos atributos dendrométricos de espécies arbóreas na mesorregião do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido com quatro Sistemas Agroflorestais implantados em Jampruca - Minas Gerais (Latitude: 18° 27' 37" Sul, Longitude: 41° 48' 14" Oeste), município localizado na mesorregião Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais – Brasil (FIGURA 1).

O clima da microrregião é do tipo Aw na escala de Köppen, sendo caracterizado como tropical com estação seca, com invernos secos e amenos e verões chuvosos com altas temperaturas (MAR, 2016). A temperatura média da região varia entre 19° C e 24° C. A estação chuvosa na região é bem caracterizada, abrangendo o período de outubro a março, correspondendo a 75% do total anual precipitado (SIGNORELLI, 1997), sendo a precipitação média anual de 1.116 milímetros (MAR, 2016).

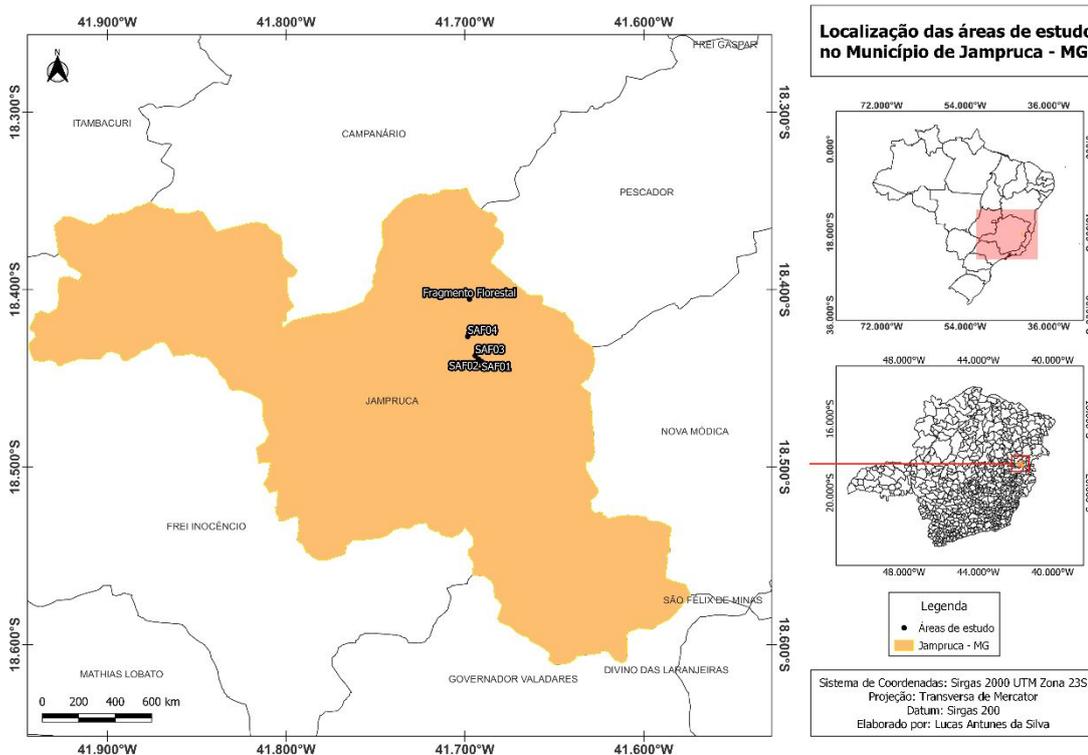


FIGURA 1. Localização das áreas de estudo no Município de Jampruca-MG. Fonte: o autor, 2023.

Os principais tipos de solo presentes na região são o Argissolo vermelho e o Argissolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2018). Caracterizados como distróficos, variando de profundo a pouco profundo, bem drenados e medianamente drenados, podendo apresentar altos teores de cascalho. O relevo predominante na região é ondulado e fortemente ondulado, com cotas que oscilam entre 150 e 350 metros e picos que chegam a 450 metros de altitude em relação ao nível do mar (SIGNORELLI, 1997). A temperatura máxima ocorrida no período de realização do experimento foi 38,5° C no mês de setembro de 2021, e a mínima foi 9,4° C, registrada em maio de 2022 (INMET, 2022).

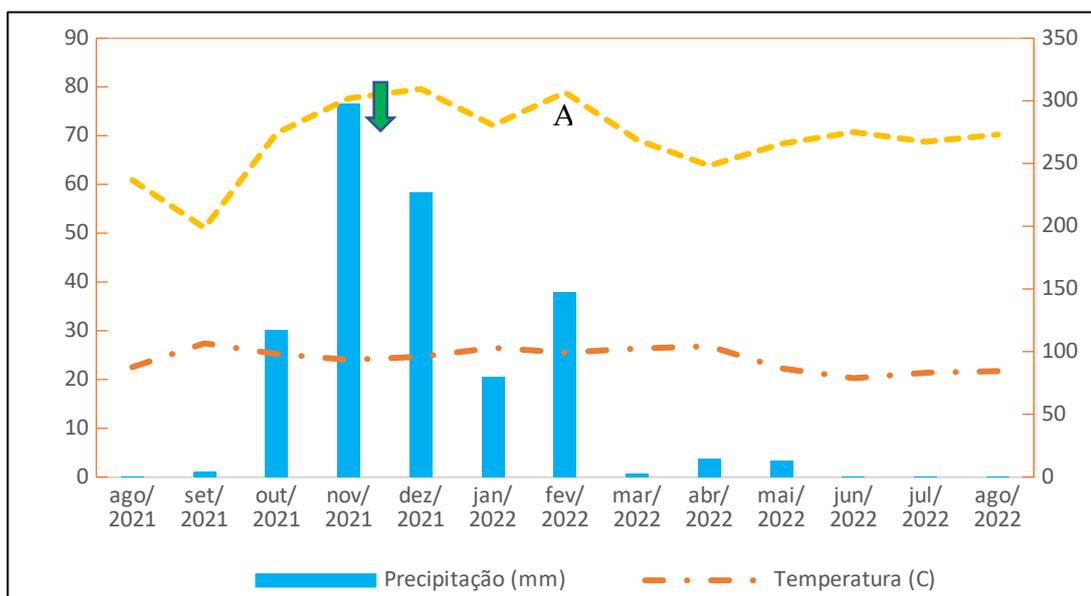


FIGURA 2. Precipitação (mm), umidade (%) e temperatura (C) obtidas pela Estação Meteorológica de Governador Valadares para o período de agosto de 2021 a agosto de 2022. Fonte: Dados INMET, estação meteorológica de Governador Valadares (INMET, 2022).

O bioma do local de estudo é a Mata Atlântica e a fitofisionomia que compõe predominantemente a região é a Floresta Estacional Semidecidual (INDE, 2004). São florestas que ocupam as áreas que transitam entre a zona úmida costeira e o ambiente semiárido, onde há uma dupla estacionalidade climática. Esta formação vegetal tem como característica uma perceptível perda de folhas de determinadas

espécies no período seco e o extrato mais alto atinge, em média, 20 metros (EMBRAPA, 2009).

Atualmente a região se encontra com alto índice de degradação florestal, áreas de monodominância de *Astronium urundeuva* (Allemão) Engl., alto índice de processo erosivo e presença de solo exposto.

Os Sistemas Agroflorestais e o Fragmento Florestal de Referência estudados fazem parte do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira (PUO). O PUO foi criado em maio de 2005 como parte do programa de Reforma Agrária instituído pelo governo brasileiro, através de portaria do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). É constituído por 43 unidades agrícolas familiares e uma área de proteção ambiental, destinada a Reserva Legal.

## 5.2 Caracterização dos sistemas avaliados

Foram analisados quatro Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) (FIGURA 3) e um fragmento florestal remanescente localizado próximo aos SAF's, denominado Fragmento Florestal de Referência (FFR).



FIGURA 3. Sistemas Agroflorestais em novembro de 2021- SAF01 (1), SAF02 (2), SAF03 (3) e SAF04 (4). Fonte: o autor, 2021.

Os SAF's foram implantados entre novembro de 2019 a março de 2020. São arranjos voltados a restauração florestal de áreas impactadas indiretamente pelo rompimento da Barragem do Fundão. Os locais de implantação são caracterizados como áreas de preservação permanente (mata ciliar).

Para a implantação todas as áreas foram cercadas previamente. Após o cercamento foi realizado o preparo de solo, com roçada seguido da abertura de berços. Os berços possuíam 40 cm x 40 cm x 40 cm (largura, comprimento e profundidade) e foram abertos com auxílio de perfurador de solo. Foi aplicado 200 gramas de calcário calcítico por berço, 30 dias antes da implantação. A adubação de base foi 300 gramas de NPK 05-30-20. A adubação de cobertura (2º mês pós plantio) foi realizada com adubo de liberação lenta FTE-XX na dose de 150 gramas por berço.

As mudas de espécies arbóreas e frutíferas implantadas possuíam, em média, 60 centímetros de altura. Foi introduzido, via sementes, espécies de adubação verde nas entrelinhas. As espécies utilizadas foram *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria spectabilis* Roth. e *Canavalia ensiformis* DC.

A seguir são apresentadas as características de cada Sistema Agroflorestal e do Fragmento Florestal de Referência estudado.

**Sistema Agroflorestal 1 (SAF01)** - sistema implantado em dezembro de 2019. É cortado pelo Córrego Boleira, que atravessa o seu interior. Possui 0,60 hectares. Vegetação constituída por indivíduos arbóreos adultos e plantas de sub-bosque, típicas de mata ciliar. As principais culturas anuais e perenes cultivadas são bananeiras, café, açafrão, feijão, milho e amendoim. O solo margeando o córrego apresenta características de carregamento de partículas de areia e silte, o que caracteriza uma alteração de textura na camada superficial. No período chuvoso é recorrente a elevação do nível do córrego e o conseqüente alagamento temporário de parte da área deste SAF. O manejo agrícola é pouco intensificado, sendo realizado em algumas entrelinhas do sistema. Localizado na latitude 18°26'26.05" Sul e longitude 41°41'26.33" Oeste.

**Sistema Agroflorestal 2 (SAF02)** - localizado as margens do Córrego Boleira, teve sua implantação concluída em janeiro de 2020. Possui área total de 0,62 hectares. É constituído por vegetação típica de mata ciliar, com alta presença de gramíneas exóticas invasoras do gênero *Panicum* (capim colônia). A ausência de manejo após a implantação aliada a baixa ocupação de indivíduos arbóreos remanescente e conseqüentemente a alta disponibilidade de luz solar, potencializou a competitividade das gramíneas invasoras em relação aos indivíduos plantados. Não houve atividade de manutenção como roçada e coroamento, tampouco implantação de culturas anuais e perenes nas entrelinhas, sendo este o SAF com menor intensidade de manejo agrícola quando comparado aos demais. Localizado na latitude 18°26'21.14" Sul e longitude 41°41'32.49" Oeste.

**Sistema Agroflorestal 3 (SAF03)** - sistema implantado em janeiro de 2020. Possui área de 0,69 hectares. Localizado as margens do Córrego Boleira, é formado por espécies nativas típicas de mata ciliar da região. Há presença de cultivos de hortifrutigranjeiros voltada para comercialização externa. Este sistema possuía grande número de indivíduos arbóreos nativos adultos antes da implantação, apresentando formação de dossel em parte da área. O manejo agrícola constante com culturas como bananeiras, milho, açafrão e olerícolas (em canteiros) aliado à reduzida oferta de luz solar impediu o desenvolvimento das gramíneas invasoras em um nível competitivo. No período chuvoso, parte deste sistema fica coberto por lâmina d'água devido a elevação do leito do Córrego Boleira. Localizado na latitude 18°26'14.19" Sul e longitude 41°41'39.22" Oeste.

**Sistema Agroflorestal 4 (SAF04)** - possui 1,82 hectares de área total. Implantação concluída em janeiro de 2020. Há presença de área brejosa e lago artificial em seu interior. Em relação ao manejo agrícola, este sistema apresenta o maior nível de intensidade de manejo quando comparado aos demais SAF's. É cultivado sobretudo com culturas anuais para autoconsumo familiar, como milho, feijão, abóbora, mandioca, maracujá, abacaxi, entre outros. O solo apresenta características arenosa nas partes mais altas. Há presença moderada de gramíneas invasoras. Historicamente foi utilizada como

área de lavoura para o cultivo familiar, e, desta forma, este sistema é o SAF que possui o menor número de indivíduos arbóreos adultos remanescentes. Localizado na latitude 18°25'35.04" Sul e longitude 41°41'54.26" Oeste.

**Fragmento florestal de referência (FFR)** - para definição do fragmento florestal de referência foi realizada uma análise da paisagem do PA Ulisses Oliveira e entorno para levantamento dos fragmentos florestais remanescentes. Foi selecionada então a área que compõe a Reserva Legal (RL) do assentamento como o sistema de referência para análise dos resultados, por se tratar sobretudo de uma área contínua formada por floresta e estar próxima aos sistemas estudados. Localizado na latitude 18°24'19.20" Sul e longitude 41°41'50.58" Oeste. Através de dados secundários obtidos com auxílio do Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce, foi possível identificar que a Reserva Legal é caracterizada, segundo os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA MG 392/07, como Estágio Inicial de Regeneração.

De acordo com a CONAMA as principais características ecológicas que caracterizam o estágio inicial são: ausência de estratificação definida; vegetação formando um único estrato (emaranhado) com altura de até 3 (três) metros; espécies lenhosas com distribuição diamétrica de pequena amplitude com DAP médio de até 8 centímetros; espécies pioneiras abundantes; epífitas, se existentes, são representadas principalmente por líquens e briófitas com baixa diversidade; serapilheira, quando existente, forma uma fina camada, pouco decomposta, contínua ou não; trepadeiras, se presentes, geralmente herbáceas; presença de espécies indicadoras: Arbóreas - *Myracrodruon urundeuva*, *Anadenanthera colubrina*, *Piptadenia* spp., *Acacia* spp., *Aspidosperma pyrifolium*, *Guazuma umifolia*, *Combretum* spp. Arbustivas - *Celtis iguanaea*, *Aloysia virgata*, *Mimosa* spp, *Calliandra* spp., *Hibiscus* spp., *Pavonia* spp., *Waltheria* spp., *Sida* spp., *Croton* spp., *Helicteres* spp. Cipós: *Banisteriopsis* spp., *Pithecoctenium* spp., *Combretum* spp., *Merremia* spp., *Mansoa* spp, *Bauhinia* spp.e *Cissus* spp.

Como a Reserva Legal do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira possui área superior a 340 hectares, foi necessário realizar uma delimitação da área a ser avaliada. A delimitação foi realizada através da análise visual de imagens de satélite (*software Qgis*) e avaliação dos dados florísticos e fitossociológicos cedidos pelo

Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce. Foi selecionada uma área contínua, formada de fragmento florestal, com cerca de 5 hectares para alocação das Unidades Amostrais.

### 5.3 Resumo da composição florística dos SAF's

O resumo da composição florística de espécies arbóreas e frutíferas de cada SAF é apresentada no QUADRO 1 a seguir. Os dados foram coletados em abril de 2021 pela equipe técnica do Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce, composta por equipe multidisciplinar, incluindo botânicos especialistas em identificação botânica.

QUADRO 1. Composição florística de espécies arbóreas e frutíferas de 04 Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) implantados em Jampruca - Minas Gerais.

Família e Espécie	SAF01	SAF02	SAF03	SAF04
<b>Anacardiaceae</b>				
<i>Schinus terebinthifolia Raddi</i>	20	24	35	26
<i>Mangifera</i> sp.	2	1	-	1
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	-	1	-	-
<i>Morus alba</i>	-	1	-	-
<b>Annonaceae</b>				
<i>Annona muricata</i>	3	1		7
<i>Annona squamosa</i>	-	-	1	-
<b>Arecaceae</b>				
<i>Cocos nucifera</i>	7	2	7	9
<i>Bactris gasipaes</i>	-	59	153	63
<b>Bignoneaceae</b>				
<i>Citharexylum myrianthum</i>	8	-	3	-
<i>Jacaranda macrantha</i>	5	9	6	11
<i>Handroanthus</i> sp.	3	20	6	7
<b>Bixaceae</b>				
<i>Bixa orellana</i> L.	19	66	51	53
<b>Caricaceae</b>				
<i>Carica papaya</i>	-	-	2	2
<b>Clethraceae</b>				
<i>Clethra scabra</i>	-	36	-	1
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Joannesia princeps</i> Vell	4	4	19	4
<i>Cnidoscylus pubescens</i>	-	7	-	-

<b>Fabaceae</b>				
<i>Inga</i> sp.	14	1	2	32
<i>Erythrina verna</i>	4	2	-	5
<i>Peltophorum dubium</i>	3	-	2	-
<i>Bauhinia forficata</i>	-	-	-	1
<i>Schizolobium parahyba</i>	-	-	-	3
<i>Cajanus cajan</i>	-	51	-	-
<i>Anadenanthera</i> sp.	-	1	-	4
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	-	28	30	-
<b>Lauraceae</b>				
<i>Persea americana</i>	7	-	9	4
<b>Malpighiaceae</b>				
<i>Malpighia emarginata</i>	2	1	1	2
<b>Malvaceae</b>				
<i>Theobroma cacao</i>	1	-	3	-
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-	14	-	-
<b>Meliaceae</b>				
<i>Cedrela fissilis</i>	9	-	-	2
<i>Swietenia macrophylla</i>	-	4	-	-
<b>Moraceae</b>				
<i>Morus alba</i>	-	-	2	1
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	-	-	-	4
<b>Moringaceae</b>				
<i>Moringa oleifera</i>	6	11	-	4
<b>Musaceae</b>				
<i>Musa</i> sp.	15	25	27	20
<b>Myrtaceae</b>				
<i>Eucalyptus</i> sp.	5	9	-	-
<i>Psidium guajava</i>	-	12	9	6
<i>Plinia cauliflora</i>	-	-	3	-
<b>Passifloraceae</b>				
<i>Passiflora edulis</i>	-	-	-	4
<b>Rhamnaceae</b>				
<i>Colubrina glandulosa</i>	7	7	16	6
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Coffea canephora</i>	28	3	54	9
<i>Genipa americana</i>	-	1	-	-
<b>Rutaceae</b>				
<i>Citrus sinensis</i>	5	5	2	
<i>Citrus limon</i> sp.	3	2	7	18
<b>Sapindaceae</b>				
<i>Paullinia cupana</i>	6	-	-	-
<b>Urticaceae</b>				
<i>Cecropia</i> sp.	-	1	3	-

#### 5.4 Arranjo amostral

Foi realizado um transecto a partir do caminhamento livre no sentido de maior comprimento de cada sistema. Foram distribuídos 6 pontos de coleta de dados (FIGURA 4). Em cada ponto de coleta foi instalada uma Unidade Amostral (UA) de 20 x 30 metros (600 metros quadrados), para amostragem dos parâmetros analisados no estudo, de acordo com a metodologia adaptada de Suarez et al. (2021). As UAs foram delimitadas através de fita métrica de 50 metros demarcadas através de estacas de madeira fixadas nos vértices. Cada sistema estudado (SAF's e FFR) recebeu, assim, 6 unidades amostrais.

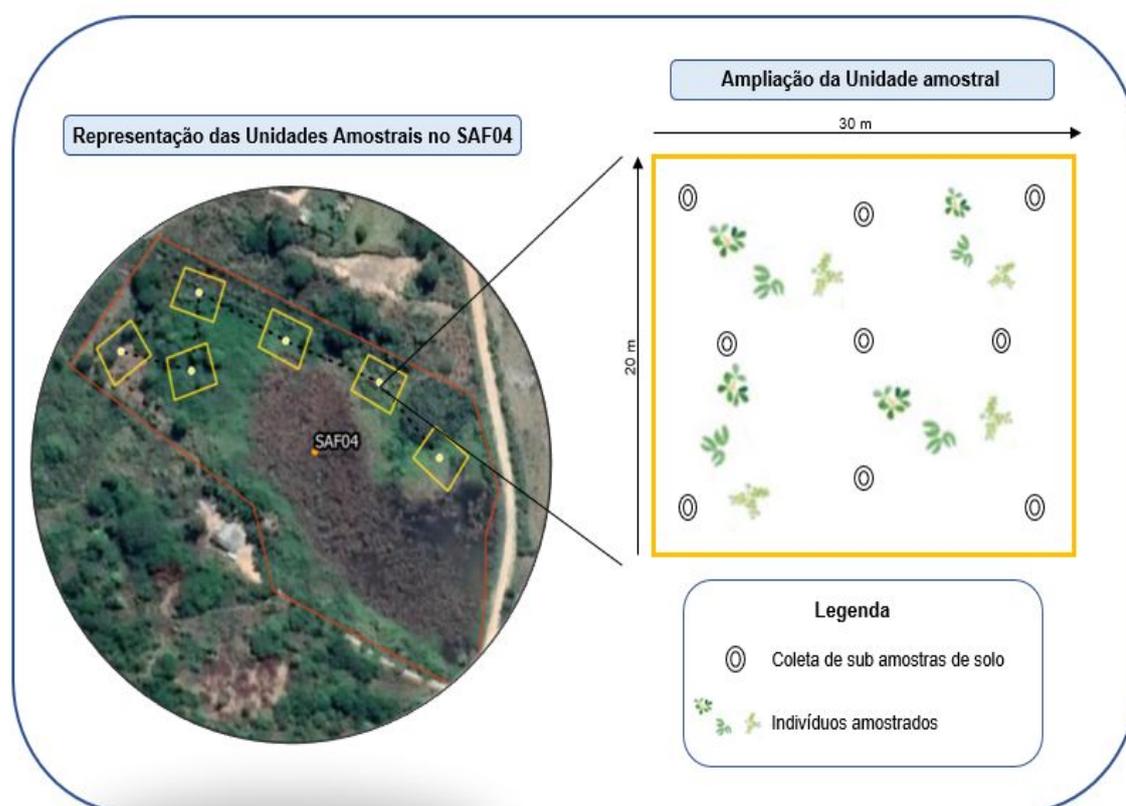


FIGURA 4. Croqui do arranjo amostral. Fonte: O autor (2023).

A seguir serão detalhadas as especificidades de coleta de cada atributo analisado.

### 5.5 Atributos físico-químicos

Em cada unidade amostral foram coletadas 10 sub amostras simples, na profundidade de 0-20 centímetros, com auxílio de trado do tipo holandês (FIGURA 5). As sub amostras foram homogeneizadas e formaram uma (01) amostra composta por UA, totalizando então 6 amostras compostas de solo por cada sistema estudado (SAF's e FFR). As amostras compostas foram secas em temperatura ambiente e peneiradas em malha de 2 mm para determinação dos atributos químicos e granulométricos no laboratório de fertilidade de solos da Universidade Federal da Grande Dourados.

Foram analisados os macronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Fósforo (P), os atributos Acidez Potencial (H+Al), Matéria Orgânica (MO) e Potencial Hidrogeniônico (pH), e os micronutrientes Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). Também foi analisada a granulometria através da determinação dos teores de areia, silte e argila.

A análise dos atributos químicos e físico do solo foram preparadas e determinadas seguindo as metodologias descrita por EMBRAPA (2011). O pH foi determinado em água,  $\text{CaCl}_2$  e SMP em solução solo:líquido a 1:2,5. Os teores de Ca, Mg e H+Al foram determinadas através da solução de KCl a 1 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de P, K e micros (Fe, Cu, Zn e Mg) foram determinados em solução Mehlich I. A MO foi obtida pelo método de oxidação com dicromato de potássio em meio ácido (Yeomans & Bremner, 1988). A análise granulométrica foi determinada pelo método da dispersão total.



FIGURA 5. Representação da coleta de solo para análise físico-química em Sistemas Agroflorestais. Fonte: o autor (2021).

## 5.6 Análise dendrométrica dos componentes arbóreos

A análise dos dados florísticos de cada SAF demonstrou que as famílias botânicas com maior número de indivíduos foram, respectivamente, Arecaceae, Fabaceae, Bixaceae, Anacardiaceae, Musaceae, Rubiaceae, Bignoneaceae, Myrtaceae e Rutaceae.

As espécies foram classificadas em grupos de plantio de Recobrimento ou Diversidade, de acordo com a definição proposta por Brancalion et al., (2015). Foram classificadas também em Frutíferas/Interesse Econômico, de acordo com a estratégia de inserção da espécie no sistema. As famílias Arecaceae, Musaceae, Rubiaceae, Myrtaceae e Rutaceae foram desconsideradas pois eram compostas majoritariamente por indivíduos do grupo Frutíferas/Interesse Econômico.

Para seleção das espécies a serem amostradas foram priorizadas as quatro famílias com ocorrência de indivíduos com maior abundância, formadas por espécies do grupo de plantio recobrimento e/ou diversidade. As famílias priorizadas foram Fabaceae, Bixaceae, Anacardiaceae e Bignoneaceae. Foi então selecionada para a amostragem dos atributos dendrométricos a espécie com maior abundância pertencente a cada família priorizada, sendo, respectivamente, *Schinus terebinthifolia* Raddi, *Jacaranda macrantha* Cham., *Bixa orellana* L. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.

As quatro espécies selecionadas compuseram o grupo para análise dos atributos dendrométricos. Foram amostradas sempre que identificadas sua ocorrência dentro de cada Unidade Amostral. Para cada indivíduo foi coletado a Circunferência a Altura do Peito (CAP) com auxílio de fita métrica apropriada e a altura, mensurada através de uma vara telescópica graduada adaptada (FIGURA 6). Posteriormente foi calculado o Diâmetro a Altura do Peito (DAP), a Área Basal (AB) e o volume (V) para cada indivíduo amostrado (FIGURA 6).



FIGURA 6. Mensuração da Circunferência a Altura do Peito (CAP) e altura das espécies arbóreas estudadas em Sistemas Agroflorestais. Fonte: o autor (2021).

No QUADRO 2 são apresentadas as principais características das espécies selecionadas para análise dos atributos dendrométricos.

QUADRO 2 - Principais características das espécies arbóreas analisadas. Fonte: Adaptado de Flora e Funga do Brasil (2023).

Espécie	Nome comum	Família	Grupo Ecológico	Domínios Fitogeográficos	Tipo de vegetação
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Aroeira pimenteira	Anacardiaceae	Pioneira	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa	Área Antrópica, Campo Limpo, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Manguezal, Restinga
<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	Jacarandá	Bignoneaceae	Secundária tardia	Cerrado, Mata Atlântica	Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista
<i>Bixa orellana</i> L.	Urucum	Bixaceae	Pioneira	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica	Área Antrópica, Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta

					Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga, Savana Amazônica
<i>Enterolobium contortisiliquu m</i> (Vell.) Morong	Tamboril	Fabaceae	Secundária inicial	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)

### 5.7 Análises estatísticas

Para investigar a relação linear entre as variáveis, foram construídos correlogramas, utilizando o método de Pearson, seguido do teste de hipótese para verificar a significância da correlação. Posteriormente, a análise de componentes principais (ACP) foi desenvolvida para a análise multivariada das características avaliadas no experimento. As duas primeiras componentes da ACP foram expressas graficamente por meio do *Biplot*, identificando no gráfico as variáveis e os tratamentos, além do percentual de explicação da variabilidade de cada componente. A análise de agrupamento (cluster) foi realizada por meio do dendrograma apresentado em um gráfico de *heatmap*, possibilitando avaliar tanto o agrupamento das variáveis quanto o agrupamento dos tratamentos.

O efeito do tratamento em cada variável foi verificado por meio do teste F da análise de variância. Quando significativo, o teste Tukey foi aplicado para comparação múltipla entre os níveis do tratamento. Neste estudo, todos os testes de hipótese foram avaliados ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram executadas no software R (*R Core Team*, 2023). A ACP foi realizada por meio do pacote *factoextra* (Kassambara e Mundt, 2020). O *heatmap* foi construído utilizando o pacote *gplots* (Warnes et al., 2022).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Atributos físico-químicos do solo

Os resultados médios obtidos por sistema para cálcio, magnésio, potássio, acidez potencial, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, cobre, ferro, manganês, zinco, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação por bases referentes a profundidade de 0 - 20 centímetros são demonstrados na TABELA 1.

TABELA 1 - Atributos químicos referente a profundidade de 0 - 20 centímetros em Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) e Fragmento Florestal de Referência (FFR).

Descrição	Ca cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg	K	H+Al	CTC	SB	V %
FFR	2,57bc*	0,88bc	0,03b	2,38a	5,85bc	3,48bc	59,40c
SAF01	3,53ab	1,43b	0,04b	2,00ab	7,01b	5,01b	71,54b
SAF02	4,75a	2,57a	0,11a	1,69b	9,12a	7,43a	81,09a
SAF03	3,06bc	1,14b	0,06b	1,38b	5,64bc	4,26b	75,62ab
SAF04	1,97c	0,51c	0,02b	1,47b	3,98c	2,51c	61,61c

Descrição	pH H <sub>2</sub> O	MOS %	P mg/dm <sup>3</sup>	Cu	Mn	Fe	Zn
FFR	5,60b	2,07ab	4,71	0,86b	58,34c	106,84b	1,94b
SAF01	5,88b	2,06ab	16,73	0,84b	51,98c	116,56b	1,66b
SAF02	6,46a	2,72a	48,99	2,18a	118,43a	274,73b	7,46a
SAF03	6,32a	1,29b	36,96	1,02b	48,06c	168,28b	2,99b
SAF04	5,85b	1,26b	39,85	1,72a	89,84b	566,12a	1,79b

\*Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores seguidos de letras minúsculas comparam a diferença estatística do atributo entre os sistemas. Valores sem letra indicam ausência de diferença estatística. Ca: cálcio, Mg: magnésio, K: potássio, H+Al: Acidez potencial, t: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, pH: potencial hidrogeniônico, MOS: matéria orgânica do solo, P: fósforo, Cu: Cobre, Mn: Manganês, Fe: Ferro e Zn: Zinco.

Os sistemas SAF02 e SAF01 apresentaram maior teor de cálcio (4,75 e 3,53 cmolc/dm<sup>3</sup>, respectivamente). O SAF02 apresentou também valor estatisticamente superior aos demais sistemas para magnésio (2,57 cmolc/dm<sup>3</sup>) e potássio (0,11 cmolc/dm<sup>3</sup>).

A SB, o V% e a CTC foram estatisticamente superiores no SAF02, evidenciando o destaque deste sistema quando avaliada as bases trocáveis. Na mesma linha, esse sistema também apresentou valor estatisticamente superior para capacidade de troca de cátions (CTC) quando comparado aos demais sistemas.

Os valores dos nutrientes apresentam diferença em virtude da capacidade de ciclagem de nutriente de cada cultura presente no SAF, como apresentado no SAF02, que possui planta forrageira que tem grande capacidade de ciclagem de nutriente e conseqüentemente incrementa em matéria orgânica.

Assmann et al. (2018) afirmam que a inclusão de plantas de cobertura no sistema promove maior ciclagem de nutrientes, em virtude que essas espécies apresentam um sistema radicular mais desenvolvidos capaz de explorar camadas mais profundas e conseqüentemente reaproveitar nutrientes que tenham sofrido processos de lixiviação.

Segundo Freitas et al. (2018) os teores de nutrientes, principalmente Ca e Mg, são favorecidos pela diversificação de espécies, incorporação de biomassa e de resíduos lenhosos em SAF's com maior intensidade de manejo.

De acordo com diagnóstico do 5º aproximação, manual de recomendação de adubação e calagem em Minas Gerais, o teor de Ca no SAF02 é alto enquanto os demais sistemas são classificados como médio. Já para Mg o teor do SAF02, SAF01 e SAF03 são considerados alto, já o FFR e SAF04 estão na classe de interpretação média. O diagnóstico de interpretação de acordo com manual de adubação vigente para a região de estudo permite compreender a variação dos resultados entre os sistemas.

Em relação ao fósforo, os valores variam entre 4,71 mg/dm<sup>3</sup> (FFR) e 48,99 mg/dm<sup>3</sup> (SAF02). Entretanto não houve diferença estatística entre os sistemas estudados. Já os resultados da Correlação de Pearson (FIGURA 7) indicam que houve correlação positiva entre P, pH e os teores de micronutrientes.

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas. Como um componente importante de fosfolipídios e ácidos nucléicos, desempenha um papel importante em vários processos bioquímicos vegetais, incluindo transferência de energia, fotossíntese, reprodução e desenvolvimento de nódulos em leguminosas (KHANGURA et al., 2023).

Embora houve diferença em termos absolutos médios do teor de P entre os sistemas, a variabilidade entre as parcelas de cada sistema pode ter contribuído para a não ocorrência da diferença estatística. Esse fato pode ser explicado pela grande variabilidade dos dados de P, que remete a uma falha inerente ao modelo de Tukey. De acordo com os parâmetros do 5º aproximação os teores do FFR e SAF01 estão baixos ( $< 20 \text{ mg/dm}^3$ ), enquanto dos demais sistemas são considerados altos ( $>30 \text{ mg/dm}^3$ ).

O teor de Potássio foi estatisticamente superior no SAF02 (TABELA 1), distinguindo-o dos demais sistemas. Além disso o K apresentou correlação positiva (FIGURA 7) com as bases trocáveis (Ca e MG), com pH e com as variáveis relacionadas a fertilidade do solo (CTC, SB e V%).

Segundo Khangura et al. (2023) o potássio regula várias funções da planta, em particular o movimento estomático. Desempenha um papel importante na supressão de patógenos e na tolerância à seca. Devido à sua forma insolúvel, o potássio geralmente não está disponível para as plantas na maioria dos solos agrícolas, resultando em deficiência de K.

O teor de K é classificado, de acordo com 5ª aproximação, como baixo para todos os sistemas. Embora os maiores teores em termos absolutos foram encontrados nos SAF02 e SAF03, que possuem maior número de indivíduos de *Musa* sp, espécie notadamente acumuladora de K. A ausência de adubação de base e cobertura com fonte específica de K limitou a presença deste nutriente nos sistemas.

O pH em água atingiu valores superior a 6 e estatisticamente superior aos demais para os sistemas SAF02 e SAF03. De acordo com 5ª aproximação esses sistemas estão com pH elevado ( $> 5,9$ ), enquanto os demais sistemas estão caracterizados com médio. Essa faixa elevada de pH para os SAF02 e SAF03 denota um ponto importante de diferenciação entre os sistemas, já que a dose para calagem na implantação foi semelhante para todos os SAF's.

O arranjo inicial dos SAF's 02 e 03 juntamente com o manejo das entrelinhas com culturas anuais e adubação verde pode haver favorecido processos ecológicos que favoreceram a elevação do pH e a consequente redução da acidez do solo. Embora o SAF04 também possuiu considerável grau de cultivo nas entrelinhas, a resposta em termos de pH e macronutrientes pode ter sido impactada devido a

composição granulométrica ou outros fatores como cobertura por lâmina d'água no decorrer da estação chuvosa.

A acidez potencial atingiu valores superiores no FFR e SAF01 (2,38 e 2,0  $\text{cmolc/dm}^3$ , respectivamente). Entretanto todos os valores de  $\text{H}^+\text{Al}$  são classificados como baixo de acordo com 5ª aproximação. A acidez potencial, portanto, não foi um fator limitante no desenvolvimento dos SAF's, bem como no FFR, onde não houve calagem. Este fato evidencia a baixa influência da acidez potencial enquanto fator limitante.

Para a MOS, importante indicador de biodiversidade do solo, os sistemas FFR, SAF01 e SAF02 apresentaram valores estatisticamente semelhantes e superior aos sistemas SAF03 e SAF04. Quanto a classificação do 5º aproximação, os teores dos sistemas FFR, SAF01 e SAF02 são caracterizados como médio ( $< 3\%$ ), enquanto os demais sistemas são classificados como baixo ( $< 1,5\%$ ). A similaridade entre o teor de MOS do SAF01 e SAF02 com o FFR indica o maior aporte de material vegetal advindo das atividades de cultivo agrícola realizado nas entrelinhas destes sistemas.

O teor de matéria orgânica no solo desempenha um papel fundamental na recuperação de solos degradados, melhorando sua estrutura global. Isso inclui a melhoria de atributos físicos, como a densidade do solo, a resistência à penetração de raízes, a estabilidade dos agregados, a porosidade e a retenção de água, além de contribuir para atributos químicos e biológicos que favorecem o crescimento das plantas (MARCHINI et al., 2015).

Na agricultura convencional, o intenso cultivo acelera a decomposição da matéria orgânica, resultando em sua redução no solo. Por outro lado, nos sistemas agroflorestais, a taxa de decomposição da matéria orgânica é mais lenta devido ao equilíbrio entre o cultivo e a entrada de matéria orgânica proveniente das árvores. Isso ocorre como uma estratégia complementar, contribuindo para a preservação da matéria orgânica no solo (ACHMAD et al., 2022).

Em relação aos micronutrientes, os sistemas SAF02 ( $2,18 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e SAF04 ( $1,72 \text{ cmolc/dm}^3$ ) foram superiores para o elemento cobre (Cu). O SAF02 apresentou também os maiores valores para os atributos manganês ( $118,43 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e zinco ( $7,46 \text{ cmolc/dm}^3$ ). Para o teor de ferro o SAF04 superou os demais sistemas, apresentando valor de  $566,12 \text{ cmolc/dm}^3$ .

Os resultados da análise de correlação de Pearson, ACP (Biplot) e Análise de Cluster entre as médias dos atributos químicos por sistema são apresentados nas FIGURA 7, FIGURA 8 e FIGURA 9.

Os resultados da análise de correlação de Pearson indicam correlação entre grande parte dos atributos químicos, tanto positiva quanto negativa. Não houve correlação entre as variáveis H+Al, P, Cu e Mn com as bases trocáveis. Houve correlação negativa (-0,86) entre a acidez potencial e o teor de fósforo. A MOS apresentou correlação positiva com a CTC (0,91) e com a soma de bases (0,82).

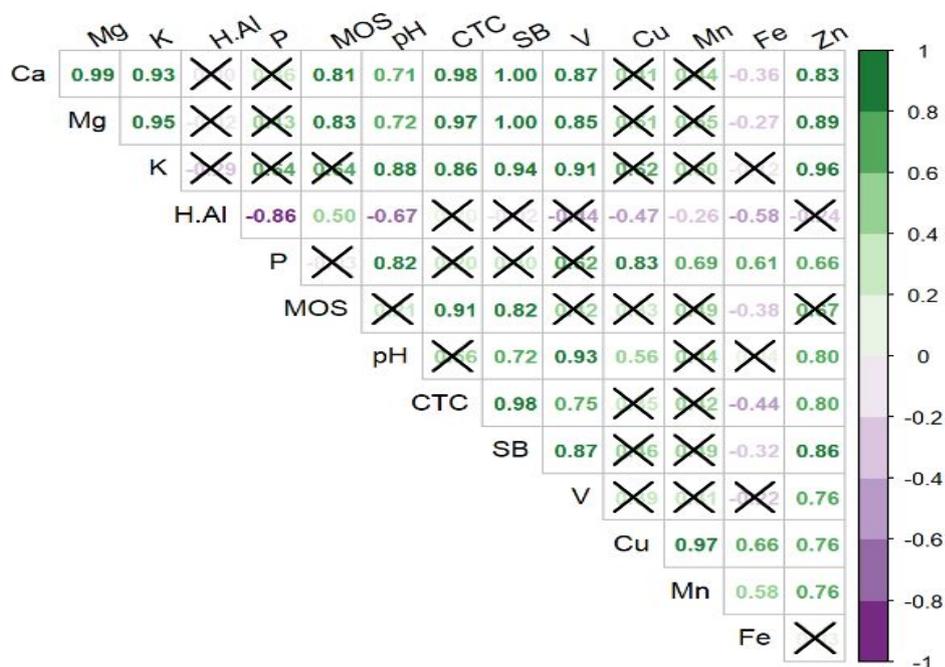


FIGURA 7. Correlação de Pearson para os atributos químicos.

Os resultados do teste de médias dos atributos químicos relacionados ao SAF02 foram corroborados pela análise de ACP, onde este sistema demonstrou forte relação com as bases trocáveis e matéria orgânica do solo (FIGURA 8). A análise de Cluster também diferenciou este sistema dos demais para a maioria dos atributos químicos.

A notoriedade do SAF02 em relação a fertilidade do solo indica que o manejo agrícola executado nas entrelinhas de plantio das espécies arbóreas, com inserção de espécies anuais como feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), taioba (*Xanthosoma*

*sagittifolium* Schott), açafrão (*Curcuma longa* Linn), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), quiabo (*Abelmoschus esculentus*) etc., podem ter influenciado positivamente no incremento do teor de matéria orgânica do solo. Em seu processo de decomposição e mineralização, ocorre liberação de diversas substâncias benéficas as plantas e microrganismos do solo, bem como reflete positivamente na formação de agregados e na estruturação do solo.

Os atributos químicos avaliados a partir da análise dos componentes principais permitiram separar o SAF02 dos demais sistemas, com valores relativamente altos de P, Cu, Mn, pH e Zn (FIGURA 8).

Os dois primeiros eixos do ACP para propriedades químicas explicam 87,8% da variância total extraída. O Eixo 1 explica 62,5% da variabilidade, enquanto o Eixo 2 representa 23,3%.

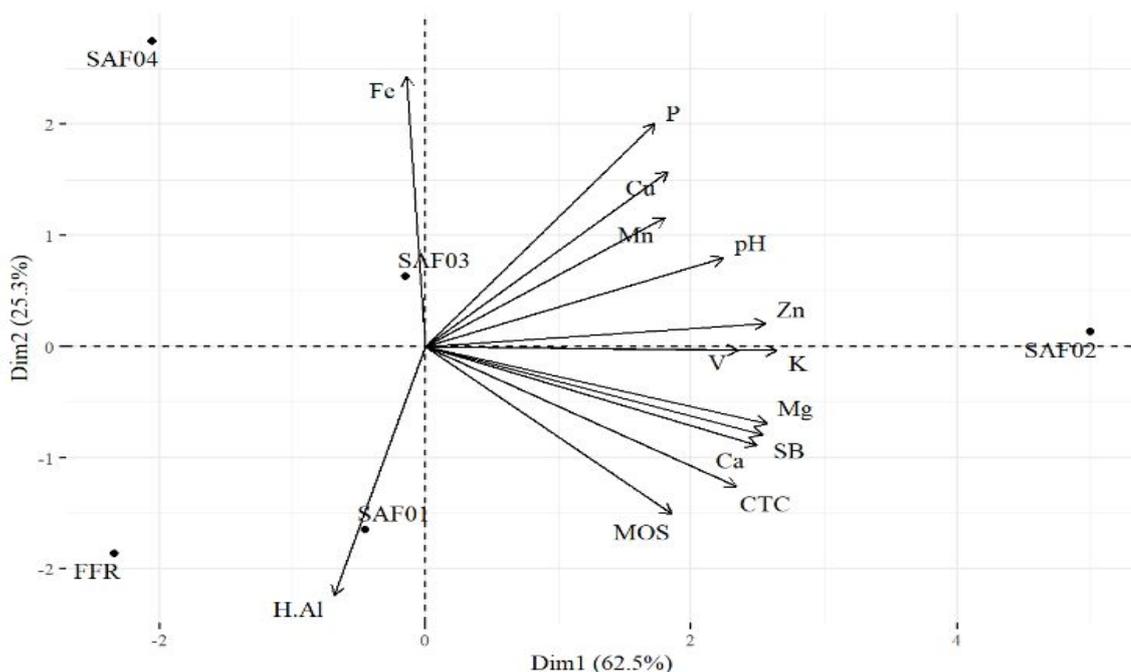


FIGURA 8 - Análise de Componentes Principais (ACP) – Biplot para os atributos químicos nos SAF's estudados.

O ACP demonstra que o FFR apresenta correlação negativa com CP1 (62,5%), representando baixos valores de fósforo, pH e micronutrientes, com exceção do ferro. O SAF04 não demonstrou grande importância na variação dos atributos

químicos em geral (FIGURA 8). No entanto apresentou os maiores valores de ferro, sendo juntamente com o SAF03 os sistemas que mais influenciam e explicam a variação deste nutriente.

A acidez potencial apresentou relação oposta ao fósforo, cobre, manganês, pH e zinco (FIGURA 8). Isto é, conforme aumentam os teores de  $H^+Al$  há uma redução do teor destes nutrientes. Já o ferro apresentou relação oposta com potássio, saturação por bases, magnésio, soma de base, cálcio, CTC e matéria orgânica do solo. O ferro foi a variável mais importante na representação da variação do CP2.

Os dados de acidez indicam que este não é um fator limitante considerável para o desenvolvimento das plantas nos sistemas estudados. Os valores médios considerados baixos pelo 5ª aproximação indicam que os manejos ligados a implantação foram eficazes para neutralizar ou reduzir a acidez potencial. Ademais, as espécies arbóreas nativas, introduzidas nestes projetos de restauração, demonstraram capacidade de adaptação as condições químicas do solo.

A análise de cluster (FIGURA 9) apresenta a formação de grupos entre os sistemas e os atributos químicos.

O SAF01 formou um grupo com FFR. O SAF04 apresentou características semelhantes ao SAF03. Já para o SAF02 a análise de cluster confirma a sua distinção entre os demais sistemas e correlação maior com a maioria dos atributos químicos avaliados.

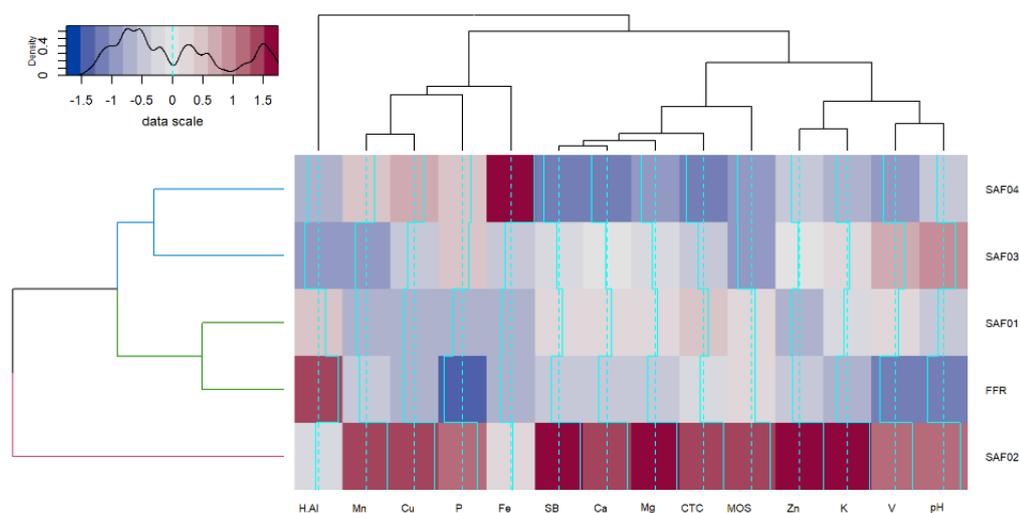


FIGURA 9 - Análise de cluster para os atributos químicos nos SAF's estudados.

Houve a formação de grupo entre as variáveis SB, Ca, Mg, CTC e MOS (FIGURA 9), corroborando os dados apresentados pela análise de componentes principais (FIGURA 8).

A fertilidade química do solo, avaliada através da análise dos parâmetros químicos, demonstra em geral que o SAF02 se assemelhou em vários parâmetros com o fragmento florestal utilizado como referência comparativa. Este fato demonstra que a diversidade de espécies aliada a intensificação de manejo e aporte de material orgânico propiciada por este SAF pode refletir na melhoria da qualidade do solo, criando condições adequadas para o desenvolvimento das espécies vegetais implantadas.

Os resultados da análise granulométrica são demonstrados na TABELA 2 a seguir.

TABELA 2. Análise granulométrica referente a camada de 0 a 20 centímetros de profundidade.

Descrição	Argila	Areia	Silte
	%		
<b>FFR</b>	15,59	72,26	12,15
<b>SAF01</b>	9,81	73,70	16,50
<b>SAF02</b>	8,12	85,92	5,96
<b>SAF03</b>	24,26	63,94	11,80
<b>SAF04</b>	11,55	81,87	6,58

Não houve diferença estatística no percentual de composição das frações areia, silte e argila entre os sistemas avaliados. Do ponto de vista granulométrico os sistemas apresentaram composição semelhantes. Entretanto a análise de ACP (FIGURA 10) evidencia que alguns sistemas tiveram maior influência na variação dos dados comparativamente aos demais.

Não há diferença de classe de solo entre os sistemas. Quanto a classificação de textura os sistemas FFR e SAF01 são “franco arenoso”. O SAF02 e SAF04 são considerados “areia franca”. Já o SAF03 é classificado como franco argiloso.

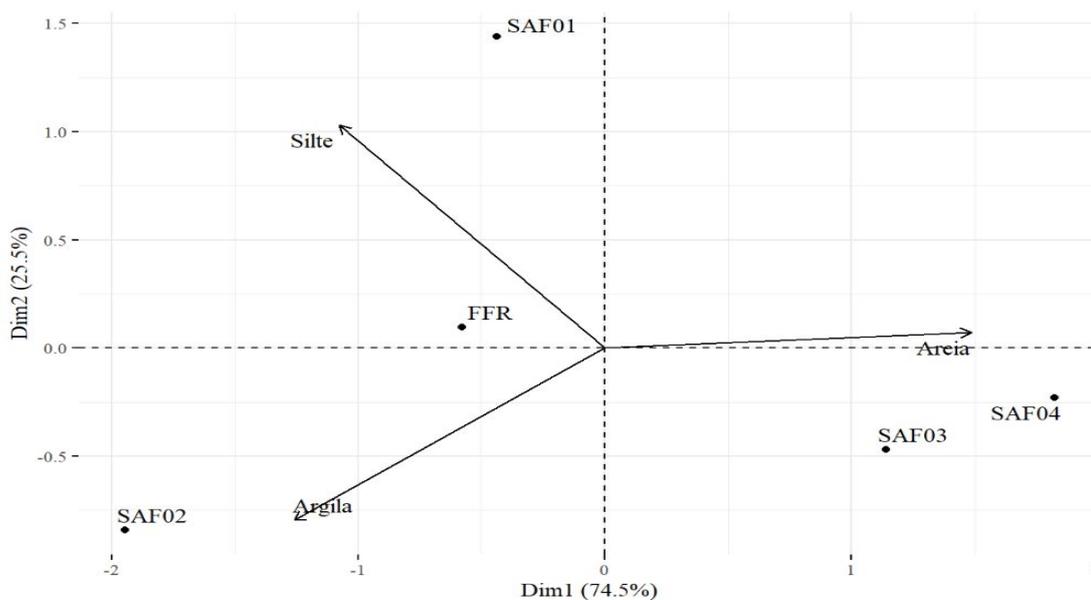


FIGURA 10. Análise de componentes principais – ACP – Biplot para a análise granulométrica nos SAF's estudados.

Os dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2) explicam, em conjunto, 100% da variabilidade total dos dados de areia, silte e argila (FIGURA 10). O CP1 (74,5% de variabilidade) é o componente que mais contribuiu para explicar a variabilidade dos dados, indicando que os sistemas e variáveis estão fortemente correlacionados nesse eixo. O CP2 (25,5% de variabilidade) representou uma parcela menor da variabilidade total, mas ainda possui relevância na explicação das relações entre os dados.

Quanto a distribuição dos sistemas no espaço de componentes, os sistemas SAF03 e SAF04 estão posicionados em direção oposta ao SAF02 no CP1, indicando diferenças significativas em relação às características analisadas. O CP2 não apresentou similaridade entre os sistemas.

A areia apresentou maior contribuição para o CP1, sendo um fator importante para distinguir os sistemas SAF03 e SAF04 do SAF02. A silte apresentou valor positivo no CP2, contribuindo para variabilidade dos sistemas SAF01, FFR e SAF02 ao longo do eixo (FIGURA 10).

Trabalhos demonstram que as propriedades do solo foram melhoradas em sistemas agroflorestais em comparação com sistemas de monocultivo (PAUDEL et al., 2012; BARDHAN et al., 2013; SILVA, 2013). Entretanto a textura do solo é uma

propriedade pouco influenciada pelos sistemas de cultivo e mais dependente do material de origem e grau de intemperismo dos grânulos de areia, silte e argila.

## 6.2 Atributos dendrométricos dos componentes arbóreos

As médias de DAP, altura (H), área basal (AB) e volume (V), por sistemas, são apresentados na TABELA 3. Os resultados demonstram que os atributos dendrométricos das espécies arbóreas variaram significativamente nos quatro sistemas agroflorestais estudados (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04), com exceção da altura para *J. micrantha*, e no DAP e AB para *S. terebinthifolia*.

TABELA 3. Médias dos atributos dendrométricos das espécies arbóreas nos sistemas agroflorestais.

Descrição	DAP (cm)	H (m)	AB (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
<b><i>Bixa orellana</i> L.</b>				
SAF01	3,62b	2,42b	0,00222ab	0,00402ab
SAF02	3,31b	2,44ab	0,00105b	0,00130b
SAF03	4,67b	2,89a	0,0022ab	0,00349a
SAF04	6,47a	2,22b	0,0039a	0,00466a
<b><i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong</b>				
SAF01	2,31b	2,34c	0,00047b	0,00064c
SAF02	12,28a	5,39a	0,01407a	0,04251a
SAF03	9,27a	4,27b	0,00757a	0,01806b
SAF04	4,27b	3,39bc	0,00150b	0,00257c
<b><i>Jacaranda micrantha</i> Cham.</b>				
SAF01	0,92b	1,94	0,00007c	0,00007c
SAF02	1,21b	2,53	0,00013b	0,00019b
SAF03	0,83b	1,93	0,00005bc	0,00005bc
SAF04	2,99a	2,77	0,00075a	0,00099a
<b><i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi</b>				
SAF01	6,69	4,08a	0,00624	0,01600a
SAF02	3,95	2,68bc	0,00149	0,00215b
SAF03	4,85	3,48ab	0,00229	0,00418b
SAF04	6,24	2,49c	0,00383	0,00516ab

\*Valores seguidos de letras minúsculas comparam a diferença estatística do atributo entre os sistemas a 5% de probabilidade. Valores sem letra indicam ausência de diferença estatística. DAP: Diâmetro a Altura do Peito, H: Altura, AB: Área Basal e V: Volume.

O valor médio de DAP foi estatisticamente superior no SAF04 para *B. Orellana* e *J. Micrantha*. E nos sistemas SAF02 e SAF03 para *E. Contortisiliquum*, apresentando uma grande amplitude de variação entre os sistemas avaliados.

A Altura (H) apresentou resultado superior nos SAF02 e SAF03 para *B. Orellana*, no SAF02 para *E. Contortisiliquum* e nos SAF01 e SAF03 para *S. Terebinthifolia*.

A Área basal foi estatisticamente superior nos SAF01, SAF03 e SAF04 para *B. Orellana*. Já para a espécie *E. Contortisiliquum* o maior valor foi apresentado pelo SAF02 e no SAF04 para *J. Micrantha*. Para a espécie *S. Terebinthifolia* os maiores valores foram apresentados pelos sistemas SAF01 e SAF04.

Quanto ao Volume os maiores valores foram apresentados pelos SAF01, SAF3 e SAF04 para *B. Orellana*. Nos sistema SAF02 para *E. Contortisiliquum*. No SAF04 para o *J. Micrantha*. E nos sistemas SAF01 e SAF04 para *S. Terebinthifolia*.

Em relação à média dos atributos dendrométricos entre as espécies o *E. Contortisiliquum* apresentou os maiores valores absolutos para todas as 4 variáveis (H: 4,52 m; DAP: 9,62 cm; AB: 0,0093 m<sup>2</sup>; V: 0,0257 m<sup>3</sup>). Já a espécie *J. Micrantha* apresentou os menores valores dendrométricos para as variáveis (H: 2,38 m; DAP: 1,69 cm; AB: 0,0003 m<sup>2</sup>; V: 0,0004 m<sup>3</sup>).

Tradicionalmente, o componente arbóreo de SAF's sempre foi manejado para favorecer os outros cultivos associados, provendo sombra, conforto térmico e microclima, ciclagem de nutrientes, entre outros serviços que visam garantir a produtividade dos cultivos agrícolas. Em SAF's voltados a restauração essa lógica se mantém, sobretudo na fase inicial onde se busca a formação rápida de dossel para criar as condições necessárias para o desenvolvimento das espécies do grupo de plantio de diversidade.

A formação rápida de dossel das espécies implantadas em projetos de restauração é fundamental para formação de microclimas que reduzem o impacto dos filtros ambientais como altas temperaturas, radiação solar direta, baixa umidade do ar, baixa retenção de água no solo etc. A estruturação do dossel promovida pelas espécies do grupo de plantio recobrimento que construirá as condições ambientais necessárias para o desenvolvimento das espécies do grupo de plantio diversidade.

As espécies arbóreas selecionadas para o estudo fazem parte do grupo de plantio recobrimento. Entretanto a ampla variação entre os atributos dendrométricos por espécie indica maior adaptação de algumas espécies em detrimento de outras. As espécies *E. Contortisiliquum*, *B. Orellana* e *S. terebinthifolia* demonstraram maior desempenho em termos dendrométricos e, portanto, são recomendadas para implantação em áreas impactadas por filtros ambientais severos devido à falta de vegetação natural. Já a espécie *J. Micrantha* obteve resultados aquém das demais, sendo recomendado reavaliar a sua classificação entre os grupos de plantio.

Sabe-se que em sistemas agroflorestais busca-se o maior aproveitamento do espaço possível, tanto horizontalmente quanto verticalmente, isto é, todos os estratos devem ser ocupados com plantas de diferentes alturas, resultando assim em maior aproveitamento tanto da luz como dos recursos do solo, pelas raízes de diferentes perfis e formas. As avaliações dendrométricas auxiliam nesse acompanhamento de formação vertical e horizontal.

O volume de madeira, obtido em  $m^3$ , é uma medida importante no que concerne ao estoque de madeira que se encontra disponível em uma floresta. O volume utiliza como base as medidas de altura, diâmetro à altura do peito e fator de forma, além de permitir inferir sobre a produtividade das espécies, a qualidade do sítio e a interferência do ambiente no desenvolvimento de espécies florestais de porte arbóreo. Em relação ao volume é notável o desempenho do *E. Contortisiliquum* quando comparado as demais espécies, denotando a sua adaptação e capacidade de acúmulo rápido de biomassa.

A análise de correlação demonstrou que para o *Jacaranda macrantha* Cham houve correlação positiva entre todos os atributos dendrométricos, conforme evidenciado na a. As variáveis dendrométricas (FIGURA 11b) na ACP explicam 100% da variação dos dados para os dois componentes principais (CP1 e CP2). O autovalor para o CP1 é de 0,934, ou seja, o segundo componente explica 93,4% da variância total. Similarmente, o autovalor para o CP2 é de 0,660, isto é, o primeiro componente explica 6,6% da variância total.

Através da análise do comprimento do vetor, é possível inferir que para a espécie *Jacaranda macrantha* Cham a variável Altura foi a que mais explicou a

variação no componente 2. Já as variáveis AB, Volume e DAP demonstraram estar altamente relacionadas e explicam a variação que separa o SAF04 dos demais sistemas.

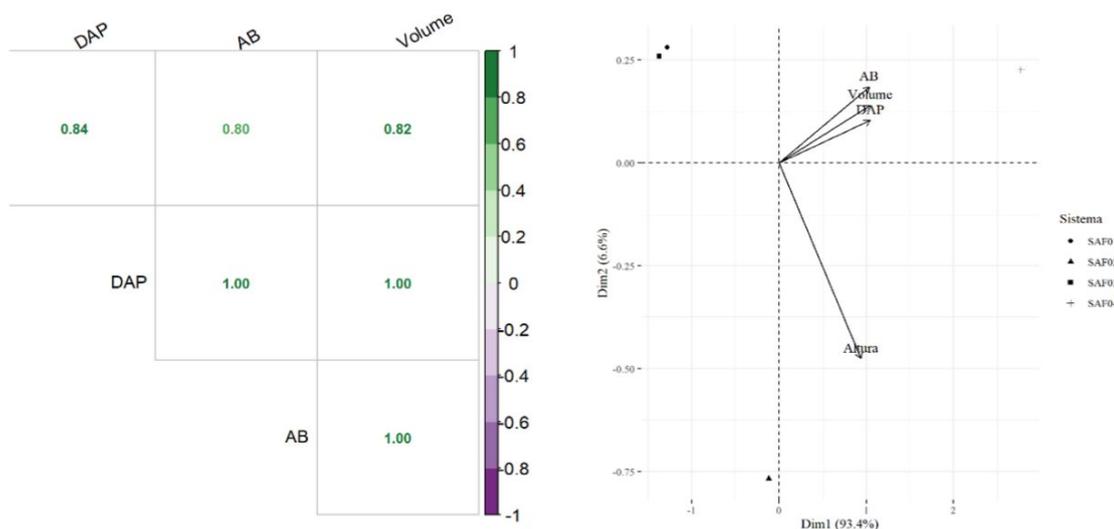


FIGURA 11. Análise de correlação para *Jacaranda macrantha* Cham referente aos atributos dendrométricos.

As análises de correlação demonstraram que para a espécie *Bixa orellana* L. houve correlação positiva entre os atributos DAP e AB (0,93) e AB e Volume (0,89), conforme evidenciado na FIGURA 12a. Para DAP e AB não houve diferença estatística.

As variáveis dendrométricas da ACP (FIGURA 12b) explicam 92,7% da variação dos dados para os dois componentes principais (CP1 e CP2). O autovalor para o CP1 é de 0,707, ou seja, o primeiro componente explica 70,7% da variância total. Similarmente, o autovalor para o CP2 é de 0,220, isto é, o segundo componente explica 22% da variância total.

A análise ACP aponta que para a espécie *Bixa orellana* L. a variável Altura foi a mais influente no componente 2 comparativamente e contribuiu para separar o SAF03 dos sistemas SAF01 e SAF03 e deslocar o SAF04 em relação oposta aos demais, exibindo as dissimilaridades. As variáveis AB, Volume e DAP demonstraram relação negativa no componente 1.

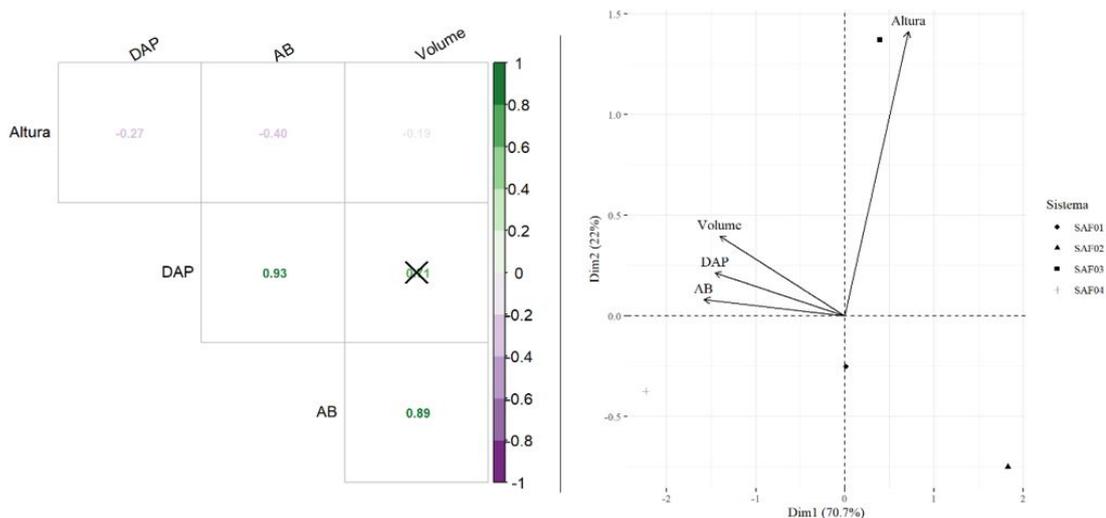


FIGURA 12. Análise de correlação para *Bixa orellana* L. referente aos atributos dendrométricos nos SAF's.

As análises de correlação demonstraram que para a espécie *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)' Morong houve correlação positiva apenas entre os atributos Volume e Altura (0,94) conforme evidenciado na FIGURA 13a. As variáveis dendrométricas (FIGURA 13b) explicam 99,5% da variação dos dados para os dois componentes principais (CP1 e CP2). O autovalor para o CP1 é de 0,977, ou seja, o primeiro componente explica 97,7% da variância total. Similarmente, o autovalor para o CP2 é de 0,180, isto é, o segundo componente explica 1,80% da variância total.

A análise de ACP demonstra que para a espécie *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)' Morong os atributos dendrométricos separaram os sistemas SAF02 E SAF03 dos demais (FIGURA 13b), sobretudo no CP1. Sendo que as variáveis Altura e DAP contribuem para explicar a variância dos dados no SAF03 e as variáveis AB e Volume explicam a variação do SAF02.

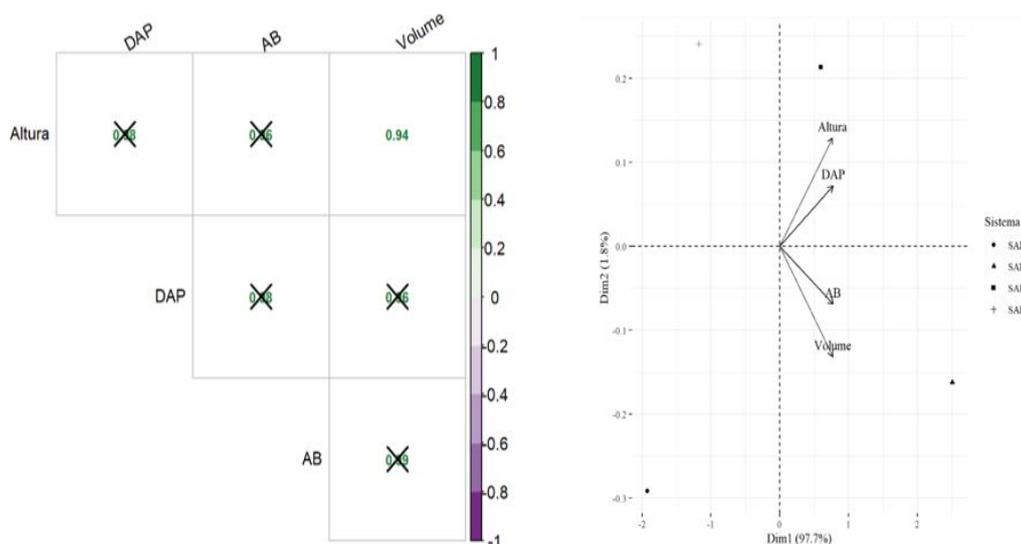


FIGURA 13 - Análise de correlação para *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong referente aos atributos dendrométricos nos SAF's.

As análises de correlação demonstraram que para a espécie *Schinus terebinthifolia Raddi* não houve correlação entre os atributos dendrométricos (FIGURA 14a). As variáveis dendrométricas (FIGURA 14b) explicam 98,9% da variação dos dados para os dois componentes principais (CP1 e CP2). O autovalor para o CP1 é de 0,789, ou seja, o primeiro componente explica 78,9% da variância total. Similarmente, o autovalor para o CP2 é de 0,200, isto é, o segundo componente explica 2% da variância total.

A análise de ACP demonstra que para a espécie *Schinus terebinthifolia Raddi* (FIGURA 14b) os atributos dendrométricos apresentaram relação negativa com o CP1, sendo que este componente separou o sistema SAF01 dos demais.

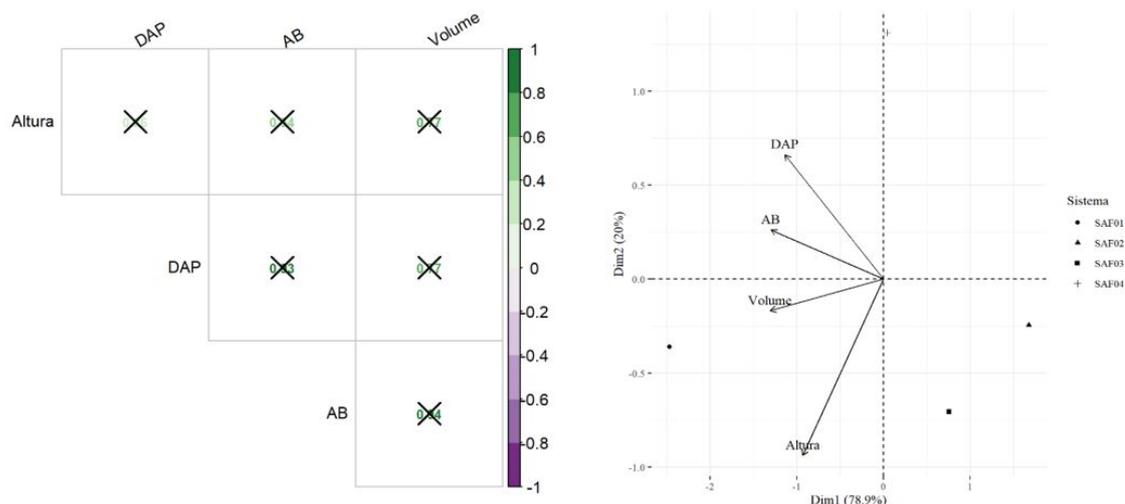


FIGURA 14 - Análise de correlação para *Schinus terebinthifolia Raddi* referente aos atributos dendrométricos nos SAF's.

Quando avaliado a performance dos atributos dendrométricos por espécie entre os sistemas, o SAF03 e SAF04 se destacam por apresentar valores estatisticamente superiores em diversas análises. Embora o *J. micrantha* tenha apresentado valores dendrométricos abaixo dos demais sistemas, é notável o seu desempenho no SAF04, apresentando diferença estatística dos demais sistemas para DAP, AB e V.

A avaliação dos atributos dendrométricos das 4 espécies estudadas permitiu compreender como está sendo a dinâmica de crescimento destas espécies em SAF's implantados com objetivo de restauração florestal. Como o objetivo inicial em projetos de restauração ativa é formação de dossel, a fim de superar filtros ambientais como luz solar direta, altas temperaturas, altas taxas de transpiração etc., criando assim o microclima necessário a adaptação das espécies não pioneiras. Entender o comportamento das espécies implantadas nos anos iniciais de desenvolvimento é primordial para a tomada de decisão sobre quando introduzir as espécies do grupo de plantio diversidade.

## 7 CONCLUSÕES

Em relação aos atributos químicos do solo, o SAF02 se destacou dos demais, apresentado valores estatisticamente superiores para Calcio, Magnésio, Potássio, CTC, Some de bases, Saturação por bases, Manganês e Zinco, indicando melhoria na fertilidade do solo.

O teor de Matéria Orgânica foi semelhante entre os Sistemas SAF01, SAF02 e FFR e estatisticamente superior aos demais sistemas. Entretanto, segundo a classificação prevista pelo Quinta aproximação, os valores apresentados estão de médio (SAF01, SAF02 e FFR) à baixo (SAF03 e SAF04).

Os sistemas não apresentaram diferença entre a composição granulométrica. Embora a análise de componentes principais indique que a variação dos valores da fração argila foi mais influenciada pelo sistema SAF02, enquanto a variação da fração areia foi explicada pelos sistemas SAF03 e SAF04.

Quanto aos atributos dendrométricos houve variação entre os sistemas e as espécies estudadas. Para a espécie *Bixa orellana* L. o DAP foi superior no SAF04, a Altura nos sistemas SAF02 e SAF03, a área basal e o volume no SAF01, SAF3 e SAF04. Para o *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong o DAP e a área basal foram superiores nos sistemas SAF02 e SAF03, enquanto a altura e o volume foram superiores no SAF02. Para o *Jacaranda micrantha* Cham. o SAF04 foi superior aos demais sistemas no DAP, área basal e volume. Por fim, para a espécie *Schinus terebinthifolia* Raddi a altura foi superior no SAF01 e SAF03 enquanto o volume foi superior nos sistemas SAF01 e SAF04.

Apesar da semelhança entre a implantação de cada sistema houve diferenças significativas no desenvolvimento inicial dos SAF's implantados para fins de restauração florestal. Para próximos estudos é necessário avaliar a riqueza de espécies, sobretudo da regeneração natural, para compreender como a comunidade vegetal implantada está interagindo com o banco de sementes e plântulas afim de projetar o sucesso ou não da sucessão natural, que é o grande objetivo da restauração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHMAD, B. et al. Traditional Subsistence Farming of Smallholder Agroforestry Systems in Indonesia: A Review. Sustainability (Switzerland)MDPI, , 1 jul. 2022.

BARDHAN, S.; JOSE, S.; UDAWATTA, R.; FRITSCHI, F. Microbial community diversity in a 21-year-old temperate alley cropping system. Agroforest Systems, v. 87 p. 1031–1041, 2013.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecological with R**. New York: Springer, 2011. 306p.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Proteção da vegetação nativa. Acesso em 22/06/2023. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12651&ano=2012&ato=a48QTVU1kMVpWT59b>.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce** - Relatório 02: Geoquímica. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php). Acesso em: 26 ago. 2023.

GUIMARÃES, G. L. et al. Changes in soil fertility indicators under different agroforestry systems in the Eastern Amazon. Agroforestry Systems, v. 93, n. 4, p. 1411-1420, 2019. DOI: 10.1007/s10457-019-00387-7.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 31 maio. 2023.

FOONG, S. Y. et al. The nexus between biofuels and pesticides in agroforestry: Pathways toward United Nations sustainable development goals. **Environmental Research**, v. 214, 1 nov. 2022.

KASSAMBARA A, MUNDT F. *\_factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses\_*. R package version 1.0.7.999, <<http://www.sthda.com/english/rpkgs/factoextra>>. 2020.

KHANGURA, R. et al. **Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health**. Sustainability (Switzerland). MDPI, 1 fev. 2023.

MAR, M. G. Prefeitura municipal de Jampruca – MG. **Plano Municipal de Saneamento básico (pmsb) do município de Jampruca – MG**. 2016.

MARCHINI, D. C. et al. Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 574–580, 2015.

MARTINS, R. C. et al. Agroforestry systems diversity effect on tree component dendrometric attributes in Brazilian Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 3, p. 204-211, 2020.

OLIVEIRA, G. G. DE et al. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 388–392, 2015.

PAUDEL, B. R.; UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J.; ANDERSON, S. H. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. **Agroforestry Systems**, v.84, p.311– 323, 2012.

PEREIRA, J. R. et al. Avaliação do potencial de sistemas agroflorestais como mitigadores das mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 711-717, 2019.

PRINANDHIKA, G. M. et al. **Relationship of Macrofauna and Soil Organic Carbon in Various Types of Agroforestry, Sumberejo Village, Batuwarno District, Wonogiri Regency**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...**Institute of Physics, 2023.

QUEIROZ, A. S. et al. Tree diversity promotes vertical and horizontal structure of agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, v. 496, p. 119372, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119372.

R CORE TEAM (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

RIBEIRO, G. A. et al. Influence of agroforestry systems on soil physical and chemical properties in the Brazilian Cerrado. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 5, p. 294-304, 2018.

SIGNORELLI, N. Folha Itambacuri - SE.24-Y-A-I, escala 1:100.000. **Projeto Leste**, 1997.

SILVA, I. C. **Sistemas agroflorestais: conceitos e métodos**. 1. ed. Itabuna: SBSAF, 2013. 308p.

UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J; NELSON, K.; JOSE, S.; BARDHAN, S. Soil quality indicators of a mature alley cropping agroforestry system in temperate North America. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 45, p.2539– 2551, 2014.

WARNES G, BOLKER B, BONEBAKKER L, GENTLEMAN R, HUBER W, LIAW A, LUMLEY T, MAECHLER M, MAGNUSSON A, MOELLER S, SCHWARTZ M, VENABLES B (2022). *ggplots: Various R Programming Tools for Plotting Data*. R package version 3.1.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=ggplots>>.

## Capítulo II

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS CONTRIBUEM NA DINÂMICA DA MACROFAUNA EDÁFICA NO PERÍODO CHUVOSO E SECO

#### RESUMO

Os sistemas agroflorestais biodiversos (SAF's) são considerados alternativas sustentáveis frente aos sistemas intensivos. O conhecimento da dinâmica de funcionamento dos SAF's é possível de ser compreendida por meio do uso de bioindicadores de manejo, tal como a macrofauna edáfica. Objetivou-se conhecer a macrofauna edáfica em SAF's com diferentes níveis de diversificação. Foram avaliados quatro SAF's baseados em seus manejos e composição florística, aqui caracterizados como 1, 2, 3 e 4, além de um fragmento florestal referencial (FFR). As amostragens da macrofauna edáfica foram feitas no período chuvoso e seco, nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, avaliando o acúmulo de serrapilheira, frequência relativa, abundância e riqueza da macrofauna edáfica, e calculados os índices ecológicos de diversidade de Shannon-Wiener e de Pielou. Os maiores valores de acúmulo de serrapilheira foram observados no período chuvoso e no SAF02 e FFR. Os grupos de maior frequência foram os Hymenoptera, Oligochaeta, Coleoptera, Isoptera e larvas em geral. Os maiores valores de abundância ocorreram na profundidade 0 – 10 cm, e nos SAF02, SAF03 e FFR, todos no período chuvoso. A riqueza de grupos permaneceu maior no SAF02 e FFR, no período chuvoso, e na profundidade 0-10 cm. Na profundidade 0-10 cm e período seco, os valores dos índices ecológicos da macrofauna edáfica foram menores. Os SAF's biodiversos contribuem para a diversidade de organismos da macrofauna edáfica, e que o SAF02 apresenta índices ecológicos mais semelhantes ao FFR, caracterizando o de maior estabilidade e resiliência ambiental.

**Palavras-chave** - bioindicadores, serrapilheira, índice de Shannon-Weiner, diversidade, índices ecológicos, sustentabilidade.

## ABSTRACT

Biodiverse agroforestry systems (AFS) are considered sustainable alternatives compared to intensive systems. Understanding the dynamics of AFS functioning is possible through the use of management bioindicators, such as soil macrofauna. The objective was to study soil macrofauna in AFS with different levels of diversification. Four AFS based on their management and floristic composition, here characterized as 1, 2, 3, and 4, were evaluated, along with a reference forest fragment (RFF). Sampling of soil macrofauna was conducted in the rainy and dry seasons at depths of 0-10 cm and 10-20 cm, assessing litter accumulation, relative frequency, abundance, and richness of soil macrofauna. Additionally, ecological diversity indices of Shannon-Wiener and Pielou were calculated. The highest litter accumulation values were observed during the rainy season in SAF02 and RFF. The most frequent groups were Hymenoptera, Oligochaeta, Coleoptera, Isoptera, and general larvae. The highest abundance values occurred at the depth of 0-10 cm, in SAF02, SAF03, and RFF, all during the rainy season. Group richness remained higher in SAF02 and RFF during the rainy season at the 0-10 cm depth. In the 0-10 cm depth and dry season, the ecological indices of soil macrofauna were lower. Biodiverse AFS contribute to the diversity of soil macrofauna organisms, and SAF02 exhibits ecological indices more similar to RFF, characterizing it as having greater environmental stability and resilience.

**Keywords** - bioindicators, litter, Shannon-Wiener index, diversity, ecological indices, sustainability.

## 8 INTRODUÇÃO

No dia 05 de novembro de 2015 houve o rompimento da barragem do Fundão, de propriedade da Samarco S.A, empresa de mineração controlada por parceria entre a Vale S.A. e a BHP Billinton, maiores empresas mineradoras do mundo. A onda de rejeito percorreu cerca de 650 quilômetros até atingir a foz do Rio Doce, região litorânea do Espírito Santo. O impacto socioeconômico e ambiental foi de escala sem precedentes na história da mineração no Brasil (IBAMA, 2015; CPRM, 2015).

Devido ao impacto ambiental causado, as empresas responsáveis assinaram o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC) junto ao Governo Federal, os governos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e outras entidades como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

O TTAC prevê programas reparatórios e compensatórios. Entre os vários programas destaca-se os ligados a restauração florestal de nascentes, áreas de preservação permanente e áreas de recarga hídrica a serem realizados através de diversas técnicas de plantio de sementes e mudas. Entre as técnicas de restauração florestal há o sistema agroflorestal.

Os SAF's estão se consolidando como alternativa sustentável de resposta aos impactos ambientais. Apresentam características fundamentais que se parecem com ecossistemas naturais, como a alta diversidade de espécies e a introdução de árvores nos sistemas produtivos, o que contribui para a restauração da biodiversidade e recuperação da qualidade do solo (SCHEMBERGUE et al., 2017).

Dentre as ferramentas de avaliação de qualidade do solo o uso de bioindicadores como a macrofauna edáfica vem sendo promovida por ser de baixo custo, alta responsividade e fácil interpretação. A macrofauna edáfica, composta por organismos de tamanho superior a 2 mm que habitam a fração superior do solo, desempenha funções importantes como ciclagem de nutrientes, formação de agregados, estruturação do solo e regulação da população de alguns insetos considerados pragas.

A macrofauna é um grupo extremamente diversificado, composto por uma ampla variedade de grupos taxonômicos, incluindo insetos, aracnídeos, moluscos e anelídeos etc. Entre os principais organismos desse conjunto estão os besouros, formigas, cupins, minhocas, aranhas, entre outros. Devido as funções que desempenham no solo, são considerados como engenheiros do ecossistemas e possuem impacto significativo na resiliência dos ecossistemas terrestres.

Os SAF's influenciam a macrofauna edáfica em diversos aspectos, como o aumento do aporte de material orgânico devido ao cultivo intensivo e biodiverso, a formação de micro-habitats potencializada pelo componente arbóreo, a redução da amplitude térmica, o aumento da umidade do solo e do ar etc. Tais fatores estimulam a atividade dos organismos da macrofauna e dão suporte ao seu desenvolvimento em termos de abundância e riqueza (VILELA E MENDONÇA, 2013; SCHEMBERGUE et al., 2017; MARSDEN et al., 2020; ROUSSEAU et al., 2021).

De acordo com Marsden et al., (2020), embora haja um aumento no volume de estudos sobre a relevância da fauna do solo, ainda não houve uma síntese dos efeitos conhecidos dos diversos tipos de sistemas agroflorestais nas comunidades e funções dessa fauna. Compreender como as práticas agrícolas impactam na biodiversidade e em suas interações com os demais componentes do sistema solo é fundamental para desenvolver sistemas produtivos biodiversos e ambientalmente estáveis.

Diante da importância da macrofauna edáfica nos ecossistemas terrestres, o presente estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica da macrofauna edáfica em sistemas agroflorestais com diferentes níveis de diversificação. Estes sistemas serão comparados a um fragmento florestal remanescente considerado como área de referência.

## 9 MATERIAL E MÉTODOS

### 9.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em quatro Sistemas Agroflorestais implantados em Jampruca - Minas Gerais (Latitude: 18° 27' 37" Sul, Longitude: 41° 48' 14" Oeste), município localizado na mesorregião Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais – Brasil (FIGURA 15).

O clima da microrregião é do tipo Aw na escala de Köppen, sendo caracterizado como tropical com estação seca, com invernos secos e amenos e verões chuvosos com altas temperaturas (MAR, 2016). A temperatura média da região varia entre 19° C e 24° C. A estação chuvosa na região é bem caracterizada, abrangendo o período de outubro a março, correspondendo a 75% do total anual precipitado (SIGNORELLI, 1997), sendo a precipitação média anual de 1.116 milímetros (MAR, 2016).

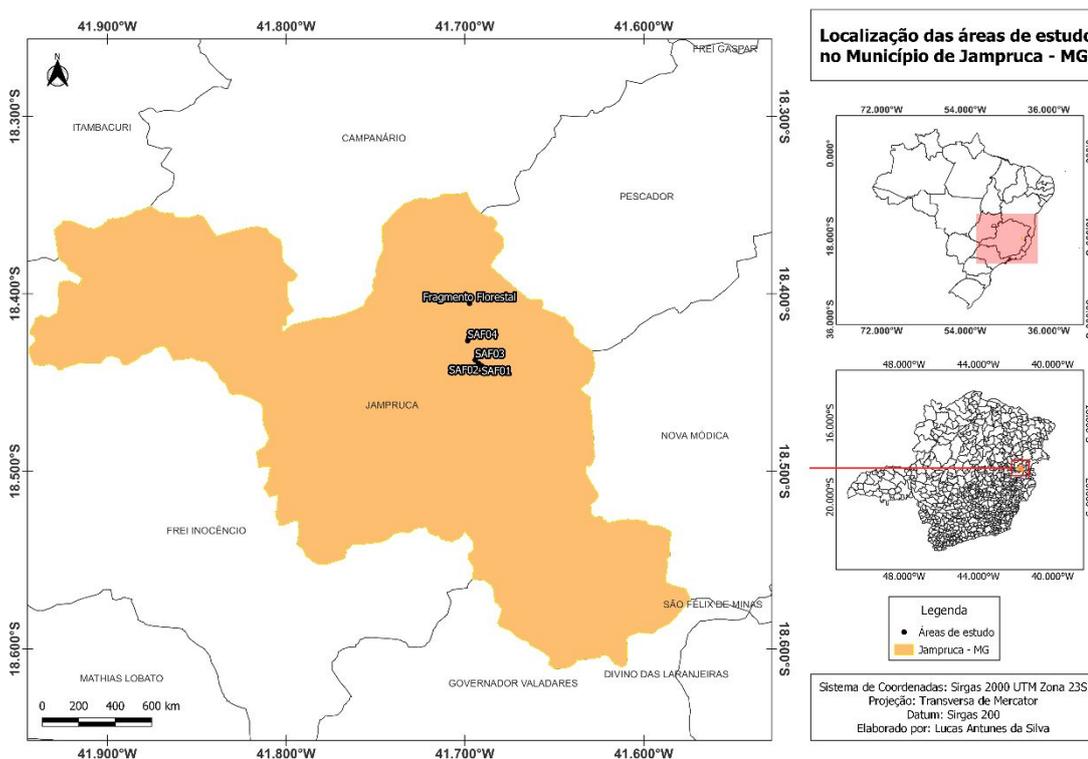


FIGURA 15 - Localização das áreas de estudo no Município de Jampruca-MG. Fonte: o autor, 2023.

Os principais tipos de solo presentes na região são o Argissolo vermelho e o Argissolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2018). Caracterizados como distróficos, variando de profundo a pouco profundo, bem drenados e medianamente drenados, podendo apresentar altos teores de cascalho. O relevo predominante na região é ondulado e fortemente ondulado, com cotas que oscilam entre 150 e 350 metros e picos que chegam a 450 metros de altitude em relação ao nível do mar (SIGNORELLI, 1997). A temperatura máxima ocorrida no período de realização do experimento foi 38,5° C no mês de setembro de 2021, e a mínima foi 9,4° C, registrada em maio de 2022 (INMET, 2022).

O bioma do local de estudo é a Mata Atlântica e a fitofisionomia que compõe predominantemente a região é a Floresta Estacional Semidecidual (INDE, 2004). São florestas que ocupam as áreas que transitam entre a zona úmida costeira e o ambiente semiárido, onde há uma dupla estacionalidade climática. Esta formação vegetal tem como característica uma perceptível perda de folhas de determinadas espécies no período seco e o extrato mais alto atinge, em média, 20 metros (EMBRAPA, 2009).

Os Sistemas Agroflorestais e o Fragmento Florestal de Referência estudados fazem parte do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira (PUO). O PUO foi criado em maio de 2005 como parte do programa de Reforma Agrária instituído pelo governo brasileiro, através de portaria do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). É constituído por 43 unidades agrícolas familiares e uma área de proteção ambiental, destinada a Reserva Legal.

## **9.2 Condições gerais, períodos de coleta e caracterização dos sistemas**

A amostragem da macrofauna edáfica foi realizada em dois períodos - chuvoso e seco, cuja os valores de precipitação, temperatura e umidade relativa encontram-se na FIGURA 16.

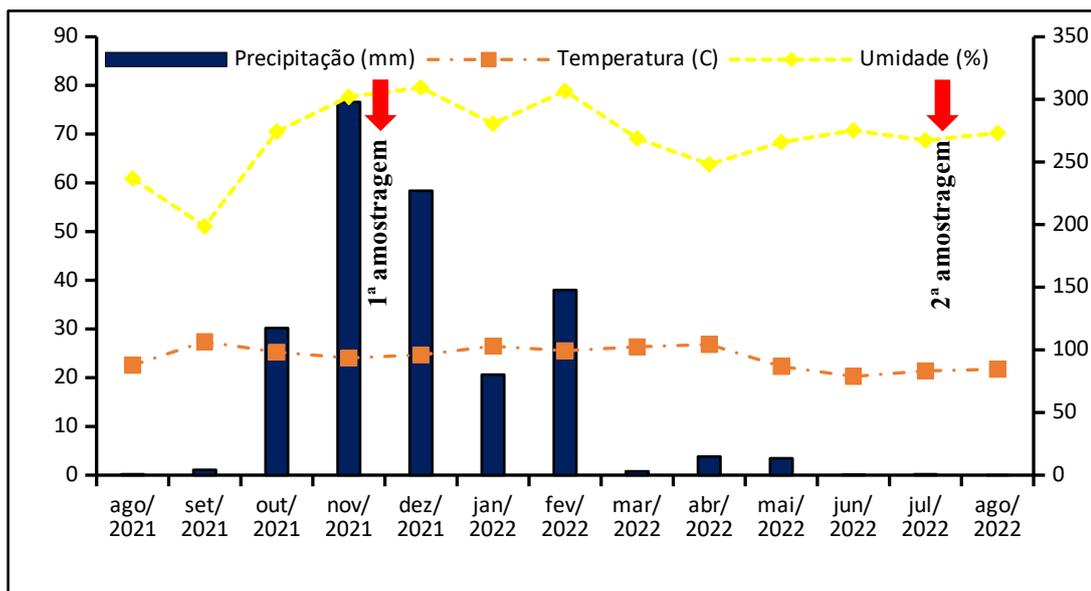


FIGURA 16 - Precipitação (mm), umidade (%) e temperatura média (°C) obtidas pela Estação Meteorológica de Governador Valadares para o período de agosto de 2021 a agosto de 2022. Fonte: Dados INMET, estação meteorológica de Governador Valadares (INMET, 2022).

Foram avaliados quatro SAF's biodiversos e um fragmento florestal referencial, com as seguintes características de manejo.

**Sistema Agroflorestal 1 (SAF01):** latitude 18°26'26.05" Sul e longitude 41°41'26.33" Oeste, 0,60 ha) - sistema implantado em dezembro de 2019. É cortado pelo Córrego Boleira, que atravessa o seu interior. A vegetação é constituída por indivíduos arbóreos adultos e plantas de sub-bosque, típicas de mata ciliar. As principais culturas anuais e perenes cultivadas são bananeiras, café, açafrão, feijão, milho e amendoim. O solo margeando o córrego apresenta características de carregamento de partículas de areia e silte, o que caracteriza uma alteração de textura na camada superficial. No período chuvoso é recorrente a elevação do nível do córrego e o conseqüente alagamento temporário de parte da área deste SAF. O manejo agrícola é pouco intensificado, sendo realizado em algumas entrelinhas do sistema.

**Sistema Agroflorestal 2 (SAF02):** latitude 18°26'21.14" Sul e longitude 41°41'32.49" Oeste, 062 ha) - localizado as margens do Córrego Boleira, teve sua implantação concluída em janeiro de 2020. É constituído por vegetação típica de mata ciliar, com alta presença de gramíneas exóticas invasoras do gênero *Panicum* (capim coloniã). A ausência de manejo após a implantação aliada a baixa ocupação de indivíduos arbóreos remanescente e conseqüentemente a alta disponibilidade de luz solar, potencializou a competitividade das gramíneas invasoras em relação aos indivíduos plantados. Não houve atividade de manutenção como roçada e coroamento, tampouco implantação de culturas anuais e perenes nas entrelinhas, sendo este o SAF com maior intensidade de manejo agrícola quando comparado aos demais.

**Sistema Agroflorestal 3 (SAF03):** latitude 18°26'14.19" Sul e longitude 41°41'39.22" Oeste, 0,69 ha) - sistema implantado em janeiro de 2020. Localizado as margens do Córrego Boleira, é formado por espécies nativas típicas de mata ciliar da região. Há presença de cultivos de hortifrutigranjeiros voltada para comercialização externa. Este sistema possuía grande número de indivíduos arbóreos nativos adultos antes da implantação, apresentando formação de dossel em parte da área. O manejo agrícola constante com culturas como bananeiras, milho, açafrão e olerícolas (em canteiros) aliado à reduzida oferta de luz solar impediu o desenvolvimento das gramíneas invasoras em um nível competitivo. No período chuvoso, parte deste sistema fica coberto por lâmina d'água devido a elevação do leito do Córrego Boleira.

**Sistema Agroflorestal 4 (SAF04):** latitude 18°25'35.04" Sul e longitude 41°41'54.26" Oeste, 1,82 ha) - Implantação concluída em janeiro de 2020. Há presença de área brejosa e lago artificial em seu interior. Em relação ao manejo agrícola, este sistema apresenta o menor nível de intensidade de manejo quando comparado aos demais SAF's. É cultivado sobretudo com culturas anuais para autoconsumo familiar, como milho, feijão, abóbora, mandioca, maracujá, abacaxi, entre outros. O solo apresenta características arenosa nas partes mais altas. Há presença moderada de gramíneas invasoras. Historicamente foi utilizada como área de lavoura para o cultivo familiar, e, desta forma, este sistema é o SAF que possui o menor número de indivíduos arbóreos adultos remanescentes.

**Fragmento florestal de referência (FFR):** latitude 18°24'19.20" Sul e longitude 41°41'50.58" Oeste) - para definição do fragmento florestal de referência foi realizada uma análise da paisagem do PA Ulisses Oliveira e entorno para levantamento dos fragmentos florestais remanescentes. Foi selecionada então a área que compõe a Reserva Legal (RL) do assentamento como o sistema de referência para análise dos resultados, por se tratar sobretudo de uma área contínua formada por floresta e estar próxima aos sistemas estudados. Através de dados secundários obtidos com auxílio do Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce, foi possível identificar que a Reserva Legal é caracterizada, segundo os critérios estabelecidos na Resolução CONAMA MG 392/07, como estágio de regeneração inicial.

Como a Reserva Legal do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira possui área superior a 340 hectares, foi necessário realizar uma delimitação da área a ser avaliada. A delimitação foi realizada através da análise visual de imagens de satélite (*software* Qgis) e avaliação dos dados florísticos e fitossociológicos cedidos pelo Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce. Foi selecionada uma área contínua, formada de fragmento florestal, com cerca de 15 hectares para alocação das Unidades Amostrais.

Abaixo encontra-se a composição florística de cada SAF (TABELA 4), cuja classificação foi obtida através de documentos auxiliares do Projeto de Restauração Florestal ao qual os SAF's estão vinculados.

TABELA 4 - Composição florística de espécies arbóreas e frutíferas dos Sistemas Agroflorestais.

<b>Família e Espécie</b>	<b>SAF01</b>	<b>SAF02</b>	<b>SAF03</b>	<b>SAF04</b>
<b>Anacardiaceae</b>				
<i>Schinus terebinthifolia Raddi</i>	20	24	35	26
<i>Mangifera</i> sp.	2	1	-	1
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	-	1	-	-
<i>Morus alba</i>	-	1	-	-
<b>Annonaceae</b>				
<i>Annona muricata</i>	3	1		7
<i>Annona squamosa</i>	-	-	1	-
<b>Areaceae</b>				
<i>Cocos nucifera</i>	7	2	7	9

<i>Bactris gasipaes</i>	-	59	153	63
<b>Bignoneaceae</b>				
<i>Citharexylum myrianthum</i>	8	-	3	-
<i>Jacaranda macrantha</i>	5	9	6	11
<i>Handroanthus</i> sp.	3	20	6	7
<b>Bixaceae</b>				
<i>Bixa orellana</i> L.	19	66	51	53
<b>Caricaceae</b>				
<i>Carica papaya</i>	-	-	2	2
<b>Clethraceae</b>				
<i>Clethra scabra</i>	-	36	-	1
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Joannesia princeps</i> Vell	4	4	19	4
<i>Cnidosculus pubescens</i>	-	7	-	-
<b>Fabaceae</b>				
<i>Inga</i> sp.	14	1	2	32
<i>Erythrina verna</i>	4	2	-	5
<i>Peltophorum dubium</i>	3	-	2	-
<i>Bauhinia forficata</i>	-	-	-	1
<i>Schizolobium parahyba</i>	-	-	-	3
<i>Cajanus cajan</i>	-	51	-	-
<i>Anadenanthera</i> sp.	-	1	-	4
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	-	28	30	-
<b>Lauraceae</b>				
<i>Persea americana</i>	7	-	9	4
<b>Malpighiaceae</b>				
<i>Malpighia emarginata</i>	2	1	1	2
<b>Malvaceae</b>				
<i>Theobroma cacao</i>	1	-	3	-
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-	14	-	-
<b>Meliaceae</b>				
<i>Cedrela fissilis</i>	9	-	-	2
<i>Swietenia macrophylla</i>	-	4	-	-
<b>Moraceae</b>				
<i>Morus alba</i>	-	-	2	1
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	-	-	-	4
<b>Moringaceae</b>				
<i>Moringa oleifera</i>	6	11	-	4
<b>Musaceae</b>				
<i>Musa</i> sp.	15	25	27	20
<b>Myrtaceae</b>				
<i>Eucalyptus</i> sp.	5	9	-	-
<i>Psidium guajava</i>	-	12	9	6
<i>Plinia cauliflora</i>	-	-	3	-
<b>Passifloraceae</b>				
<i>Passiflora edulis</i>	-	-	-	4
<b>Rhamnaceae</b>				

<i>Colubrina glandulosa</i>	7	7	16	6
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Coffea canephora</i>	28	3	54	9
<i>Genipa americana</i>	-	1	-	-
<b>Rutaceae</b>				
<i>Citrus sinensis</i>	5	5	2	
<i>Citrus limon</i> sp.	3	2	7	18
<b>Sapindaceae</b>				
<i>Paullinia cupana</i>	6	-	-	-
<b>Urticaceae</b>				
<i>Cecropia</i> sp.	-	1	3	-

### 9.3 Amostragem da macrofauna edáfica

A macrofauna edáfica foi amostrada usando o método padrão TSBF/ISO 23611-5 (ISO 23611, 2011). Para isso, em casa sistema agroflorestal biodiverso foram determinados seis pontos de coleta, equidistantes de no mínimo 20 m entre si, no quadrante de 20 x 30 m (FIGURA 17). Posteriormente, utilizando um gabarito de 25 x 25 cm, coletando todo material vegetal depositado sobre o solo, composto de folhas, ramos e partes vegetais reprodutivas em diferentes graus de decomposição. Quando na presença de gramíneas, foi considerado serapilheira o material que se encontrava solto da gramínea e depositado sobre o solo. O material foi acondicionado em sacos Kraft®, e submetidos a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até alcançarem peso constante.

Em cada ponto de coleta, foi feito uma mini trincheira com as dimensões de 25 x 25 cm, e feita a coleta manualmente de solo em duas profundidades – 0-10 cm e 10-20 cm, sendo que cada amostra foi disposta em bandejas plásticas (FIGURA 18) e posterior acondicionada em sacos plásticos, e encaminhadas ao laboratório.

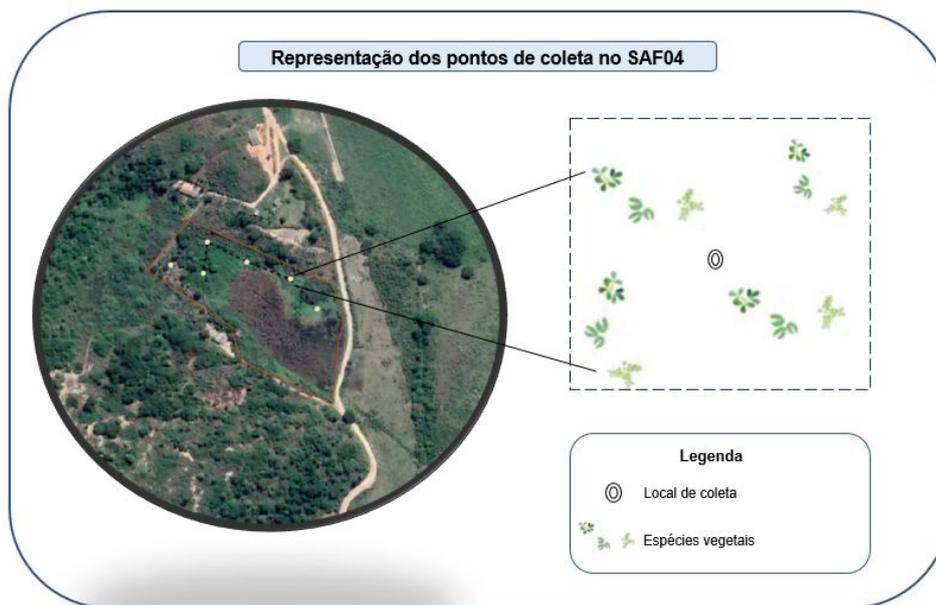


FIGURA 17 - Ilustração do croqui de coleta do solo. Fonte: o autor (2022).

Em laboratório, o solo foi novamente disposto em bandeja de plástico de coloração branca para triagem manual dos organismos utilizando pinça. Os organismos da macrofauna edáfica extraída foram preservados em recipientes plásticos com álcool 70% para posterior identificação visual ou em lupa de mão, quando necessário, classificando em grandes unidades taxonômicas (classe ou ordem) a partir do Manual de Entomologia Agrícola (GALLO, 2002) e outros materiais disponíveis de consulta.



FIGURA 18 - Ilustração de amostragem do solo e triagem dos organismos. Fonte: o autor (2022).

#### 9.4 Indicadores ecológicos

A diversidade foi determinada usando o índice de Shannon-Weaver (H), definido como  $H = -\sum p_i \cdot \log p_i$ , onde  $p_i = n_i/N$ , em que  $n_i$  representa o valor de importância de cada grupo e  $N$  é o total dos valores de importância. Quanto maior o valor do índice, maior é a diversidade da amostra.

A uniformidade foi calculada de acordo com o Índice de Pielou (P), definido como  $P = H/\log S$ , onde  $H$  é o Índice de Shannon-Weaver e  $S$  é o número total de grupos na comunidade. A uniformidade das espécies varia de zero a um, com zero significando nenhuma uniformidade e um significando uniformidade completa (MAGURRAN, 2004).

O índice de diversidade de Shannon-Weaver, índice de uniformidade de Pielou, riqueza total e abundância para as estações seca e chuvosa nas diferentes profundidades foram utilizadas como variáveis explicativas.

#### 9.5 Delineamento experimental e análises de dados

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo que cada unidade experimental foi constituída de um monólito de solo, em diferentes profundidades. Os tratamentos foram arranjados em esquema de subparcelas, alocando os as profundidades de amostragem nas parcelas, e os sistemas avaliados nas subparcelas, e as avaliações nos períodos chuvoso e seco foi caracterizada como parcela subdividida no tempo.

Os dados de abundância e riqueza foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados de abundância e riqueza foram submetidos à análise de variância, e quando significativos pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), as médias em função dos períodos de amostragem e profundidades de coleta foram comparados pelo teste F, enquanto em função dos sistemas avaliados foram comparados pelo teste de Tukey, todos  $p \leq 0,05 \pm$  erro padrão. Os dados de serrapilheira foram analisados em função dos períodos de amostragem e

sistemas de avaliação. Os dados de índice de diversidade de Shannon-Wiener e de Pielou foram apresentados de maneira descritiva, não aplicando análise estatística.

## 10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados das condições climáticas é possível perceber o estabelecimento de duas estações climáticas bem definidas para a região de estudo (FIGURA 16). Essa má distribuição das precipitações durante os meses do ano influencia diretamente na vegetação de cada sistema (FIGURA 19), sendo que no período seco a vegetação apresenta-se com pouca folhagem e parte da vegetação com aspecto pouco turgido, resultado diferente ao observado no período chuvoso, respostas que influenciam a quantidade de material vegetal produzido, sombreamento sobre o solo, formação de micro-habitat e a funcionalidade ecossistêmica.



FIGURA 19 - Aspecto visual da vegetação no período seco (A) e chuvoso (B) em sistemas agroflorestais biodiversos. Fonte: o autor (2022).

Além do aspecto visual, a dinâmica entre o período seco e chuvoso influencia também a diversidade de espécies vegetais e a quantidade de material vegetal acumulado. No período chuvoso há expressivo recrutamento de indivíduos de novas espécies vegetais, pouco ou não presentes na estação seca. Essa maior riqueza de espécies vegetais reflete também no maior acúmulo de biomassa por unidade de área.

O acúmulo de serrapilheira nos sistemas avaliados foi influenciado pelos fatores isoladamente, sendo que os maiores valores ocorreram no período chuvoso (FIGURA 20A). No que se refere aos sistemas, os maiores valores foram observados no FFR, o qual não diferiu estatisticamente do SAF02 (FIGURA 20B), e os menores

valores ocorreram no SAF01 e SAF04, reflexo da diversidade de espécies florísticas em número de indivíduos e espécies catalogadas nesses sistemas (Error: Reference source not found).

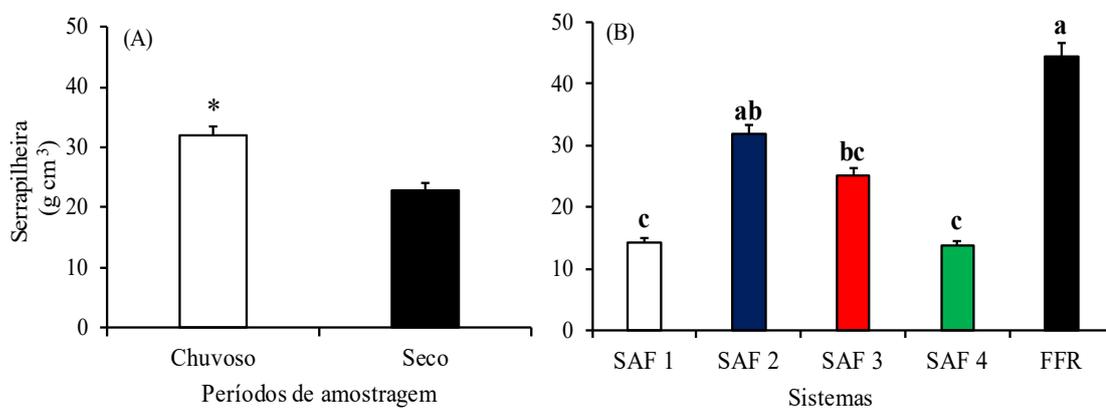


FIGURA 20 - Acúmulo de serrapilheira em quatro sistemas agroflorestais biodiversos e fragmento florestal referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil. (A) \*  $p \leq 0,05 \pm$  erro padrão (teste t de Bonferroni). (B) Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey,  $p \leq 0,05 \pm$  erro padrão.

O maior aporte de material vegetal no período chuvoso, aliado a fatores climáticos, fornecem condições favoráveis para maximização da atividade biológica. A macrofauna é um dos grupos de organismos do solo diretamente afetados pela disponibilidade de matéria orgânica. Os SAFs, enquanto sistemas de cultivo biodiversos e intensivos, criam condições de suporte favoráveis a atividade biológica (VILELA E MENDONÇA, 2013; SCHEMBERGUE et al., 2017). O acúmulo de serrapilheira no SAF02, estatisticamente semelhante ao FFR e superior aos demais sistemas, indica a capacidade deste SAF em aportar material vegetal de forma comparável a um ambiente florestal.

O acúmulo de serrapilheira no FFR e SAF02 pode ter contribuído para maximização da riqueza e abundância de macrofauna nestes sistemas. À medida que há um aumento na decomposição de material vegetal a disponibilidade de nutrientes no solo se amplia, e é esperado que a diversidade da macrofauna edáfica aumente, uma vez

que mais fontes de energia e nutrientes estarão disponíveis para sustentar essa comunidade (PRINANDHIKA et al., 2023).

A frequência relativa dos grupos taxonômicos é apresentada na TABELA 5 a seguir.

TABELA 5 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais e um fragmento florestal referencial, avaliadas em duas profundidades e duas épocas de coleta, em Jampruca - Minas Gerais, Brasil.

Grupos	SAF 1		SAF 2		SAF 3		SAF 4		FFR		Total											
	0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm			10-20 cm										
	Chuvo so	Sec o		Chuvo so	Sec o																	
Araneae	1%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	17	0%	0%	0%	0%	5%	8%	1%	0%	0%	0%	13	14
Coleoptera	21%	17	22%	14	9%	22	7%	20	17%	17	16%	0%	27%	14	<b>45%</b>	0%	10%	0%	13%	0%	13	100
Diplopoda	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	7	
Diplura	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	5%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	8
Gastropoda	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	5%	0%	5%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	10	
Hemiptera	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	
Hymenoptera	<b>51%</b>	<b>58</b>	11%	<b>43</b>	<b>33%</b>	22	21%	20	28%	6%	0%	<b>86</b>	<b>41%</b>	29	<b>40%</b>	<b>77</b>	<b>43%</b>	17	<b>31%</b>	0%	212	
Isoptera	0%	8%	0%	14	0%	11	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	<b>43</b>	0%	0%	0%	<b>67</b>	0%	0%	11	
Larvas (geral)	9%	8%	19%	14	3%	<b>44</b>	0%	7%	8%	<b>33</b>	16%	<b>14</b>	2%	0%	5%	8%	1%	0%	4%	0%	49	
Oligochaeta	13%	0%	<b>48%</b>	0%	<b>55%</b>	0%	<b>72%</b>	<b>47</b>	28%	17	<b>58%</b>	0%	25%	14	5%	8%	<b>41%</b>	0%	<b>48%</b>	<b>50</b>	211	
Orthoptera	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	1	
Symphyla	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	
Abundância total	77	12	27	7	80	9	29	15	107	18	19	7	44	7	20	13	69	6	54	8	<b>628</b>	

Foram coletados 628 organismos, com média geral de 125 indivíduos por sistema. Hymenoptera (33,8%), Oligochaeta (33,6%) e Coleóptera (15,9%) foram as ordens mais abundantes, representando 83,3% da macrofauna coletada. A ordem Hymenoptera foi a mais abundante, em consonância com os resultados encontrados por Yanarita et al., (2021), onde as formigas (Hymenoptera: Formicidae) foram mais abundantes. Estes insetos são conhecidos por serem insetos sociais, organizados em castas com diferentes atribuições. Entre as principais funções que as formigas desempenham estão decomposição, polinização, aeração e predação.

Em relação as diferentes profundidades, na camada de 0 a 10 centímetros as ordens mais abundantes foram Hymenoptera (36%), Oligochaeta (30%), Coleóptera (16%) e larvas em geral (7%), representando 383 dos 429 indivíduos encontrados nessa camada. Na profundidade de 10 a 20 centímetros as ordens mais abundantes foram Oligochaeta (42%), Hymenoptera (28%), Coleóptera (16%) e larvas em geral (9%), abrangendo 189 dos 199 indivíduos coletados nessa camada.

Os organismos das ordens Hymenoptera e Oligochaeta, mais abundantes neste estudo, possuem grande importância ambiental. As formigas, além das funções já citadas, são importantes predadoras e consumidoras, controlando populações de insetos e outros artrópodes, contribuindo para o equilíbrio ecológico e a biodiversidade. Além disso, atuam também na dispersão de sementes, construindo relações de mutualismo com algumas espécies vegetais.

Do ponto de vista físico, os organismos de ambas as ordens possuem comportamento similar. Sua atividade de escavação de galerias no solo, função inerente a esses organismos, melhora a aeração do solo, a porosidade e a infiltração de água, beneficiando a penetração das raízes e o desenvolvimento das plantas. As minhocas (Oligochaeta: Lumbricidae), ainda, são importantes agentes na decomposição, fragmentando e incorporando material vegetal no solo, ampliando a ciclagem de nutrientes e favorecendo a fertilidade do solo.

A abundância da macrofauna edáfica foi influenciada pela interação entre períodos de amostragem x profundidade de coleta (FIGURA 21A) e períodos de amostragem x sistemas avaliados (FIGURA 21B). Os maiores valores ocorreram na profundidade 0 – 10 cm, no período chuvoso. No período seco, nas duas profundidades de coleta os valores não diferiram estatisticamente entre si. Esses maiores valores estão

associados ao fato de que nesse período ocorreu maior acúmulo de serrapilheira (FIGURA 20A).

Em geral, observado a dinâmica de abundância dos organismos, no período chuvoso os valores foram maiores em todos os sistemas em comparação ao período seco (FIGURA 21B), sendo que estatisticamente o maior valor ocorreu no SAF02 e SAF04, não diferindo do SAF01 e FFR. No período seco, os valores não diferiram entre os sistemas avaliados.

O metabolismo dos organismos da macrofauna edáfica é afetado pela dinâmica da temperatura e umidade. A redução da disponibilidade de água no solo no período seco, somado a altas temperaturas, além de reduzir a oferta de alimentos, reduz a atividade metabólica destes organismos. Os resultados de abundância (FIGURA 21B) refletem essa dinâmica temporal.

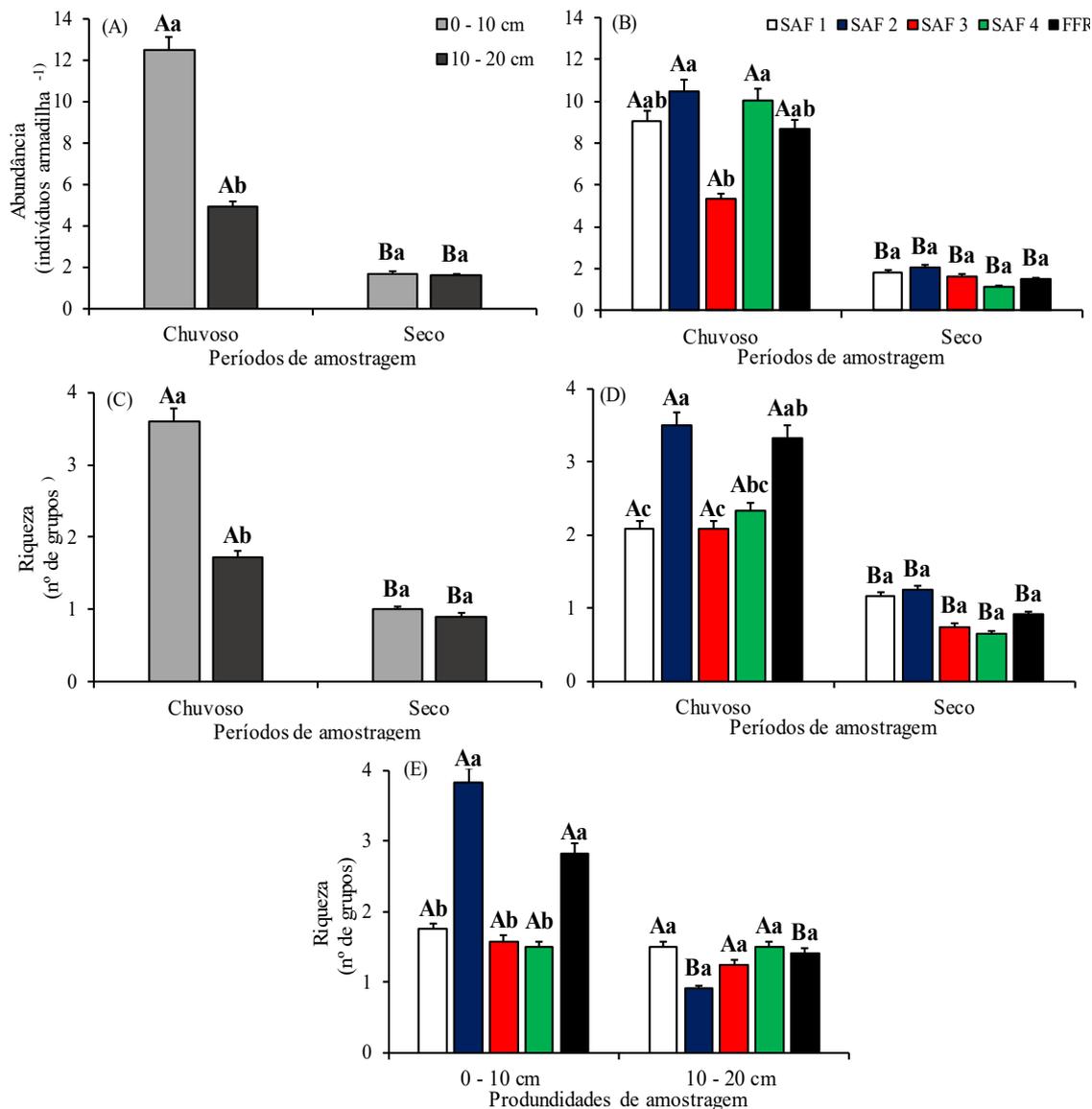


FIGURA 21 - Abundância (A, B) e riqueza (C, D e E) de organismos da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais biodiversos e fragmento florestal referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil. (A) \*  $p \leq 0,05 \pm$  erro padrão (teste t de Bonferroni). (B) Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey  $p \leq 0,05 \pm$  erro padrão

A riqueza de grupos da macrofauna edáfica apresentou a mesma resposta que a abundância, ou seja, maiores valores na profundidade 0 – 10 cm no período chuvoso (FIGURA 21C). Na interação profundidades de coleta x sistemas, observa-se que as maiores riquezas ocorreram no SAF02 e no FFR, ambos no período chuvoso (FIGURA 21D), os quais não diferiram estatisticamente entre si, enquanto nos demais

sistemas os valores foram menores. Esses resultados estão associados aos maiores acúmulos de serrapilheira, uma vez que a deposição das folhas e galhos sobre o solo formam uma cobertura micro-habitat, condição favorável para abrigo de organismos da macrofauna, e além de que esses materiais vegetais são fontes de alimentos para muitos organismos.

No período seco, os valores foram menores e não diferiram entre os sistemas avaliados, demonstrando que a condição climática é desfavorável aos organismos em função da umidade relativa e temperatura estarem mais baixa (FIGURA 16). Embora a mudança não foi tão acentuada, ressalta-se que esses organismos são extremamente sensíveis a qualquer oscilação térmica, e até mesmo devido à baixa disponibilidade hídrica nesse período,

Na profundidade de coleta 0-10 cm, os maiores valores foram observados no SAF02 e FFR, diferindo dos demais sistemas nesse mesmo período (FIGURA 21E). No período seco os valores não variaram entre os sistemas, mas destaca-se que o SAF02 e o FFR foram menores em comparação aos observados no período chuvoso (FIGURA 21E).

Foi observado que a camada de 0-10 cm de profundidade apresentou a concentração mais elevada de organismos. Isso pode ter sido influenciado pela presença da cobertura vegetal nos sistemas analisados, a qual contribuiu para o suprimento de biomassa como fonte de alimentação para os organismos. A cobertura vegetal desempenha um papel na regulação da temperatura do solo e na redução da intensidade da luz solar, criando um microambiente estável propício ao desenvolvimento e funcionamento das comunidades de macroinvertebrados, tanto aquelas localizadas na superfície quanto nas profundezas do solo (RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2023).

Embora o SAF03 tenha apresentado número de indivíduos florestais próximo ao SAF02, a menor diversidade nesse sistema, pode estar associado a predominância de *Bactris gasipaes* (153 indivíduos), favorecendo a dominância do grupo Hymenoptera (86% no período seco), incluindo formigas, por exemplo, promovendo instabilidade da ecologia de populações de outros grupos. Além disso, no SAF03, no período chuvoso, parte deste sistema fica coberto por lâmina d'água devido a elevação do leito do Córrego Boleira. No SAF04, é que apresenta o maior nível de intensidade de manejo quando comparado aos demais SAF's, uma vez que há atividades

com finalidade de autoconsumo familiar, como milho, feijão, abóbora, mandioca, maracujá, abacaxi, entre outros, retirando-os em determinados períodos.

Quanto ao índice de diversidade de Shannon-Wiener, observou-se que no período chuvoso, na profundidade 0-10 cm, os menores valores de  $H'$  ocorreram nos SAF's 1 e 4, enquanto na profundidade 10-20 cm foram nos SAF's 2 e 3 (TABELA 6). No período seco, exceto no SAF03, os maiores valores foram observados na profundidade 0-10 cm, sendo que o SAF01 foi o que apresentou menor  $H'$  em comparação aos demais sistemas nas duas profundidades, nesse mesmo período. O menor valor no SAF01 pode estar associado a menor quantidade de serrapilheira, associada quantidade de espécies e indivíduos florísticos (24 e 187, respectivamente), nesse sistema.

Quanto ao índice de Pielou ( $e$ ) no período chuvoso, para profundidade de 0 a 10 centímetros, o maior valor foi apresentado pelo SAF03 enquanto o menor valor foi apresentado pelo SAF01. Já para a profundidade de 10 a 20 centímetros o maior e o menor valor registrado foram para o SAF01 e SAF03, respectivamente. No período seco para a profundidade de 0 a 10 centímetros o maior valor de  $e$  foi registrado para o SAF02 e o menor para o SAF01 e, para a profundidade de 10 a 20 centímetro o maior valor foi observado no FFR e o menor novamente no SAF01.

O índice de Pielou serve como um indicativo da predominância das espécies em determinada comunidade. A variação no índice de uniformidade da macrofauna do solo reflete a supremacia de uma determinada espécie ou a presença significativa de muitos indivíduos pertencentes a essa espécie dentro da comunidade (YANARITA et al., 2021).

TABELA 6 - Índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e equabilidade de Pielou ( $e$ ) da macrofauna edáfica em quatro sistemas agroflorestais biodiversos (SAF) e fragmento florestal referencial (FFR), coletados em dois períodos (chuvoso e seco) em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) referencial em Jampruca - Minas Gerais, Brasil.

Profundidade (cm)	Sistemas	$H'$	$e$
<b>Período chuvoso</b>			
0 - 10	SAF01	1,04	0,32

10 - 20		1,20	1,09
0 - 10	SAF02	1,74	0,90
10 - 20		0,69	0,99
0 - 10	SAF03	1,28	0,92
10 - 20		0,79	0,57
0 - 10	SAF04	0,87	0,79
10 - 20		1,21	0,88
0 - 10	FFR	1,23	0,77
10 - 20		1,24	0,90
<b>Período seco</b>			
0 - 10	SAF01	0,46	0,66
10 - 20		0,32	0,29
0 - 10	SAF02	1,79	0,86
10 - 20		1,21	0,75
0 - 10	SAF03	1,29	0,80
10 - 20		1,18	0,73
0 - 10	SAF04	1,09	0,67
10 - 20		1,25	0,70
0 - 10	FFR	1,42	0,68
10 - 20		1,24	0,90

Embora o SAF02 tenha apresentado diversidade maior que o FFR para a camada de 0 a 10 centímetros tanto no período seco quanto no chuvoso, o FFR apresentou os maiores valores referentes à camada 10 a 20 centímetros. Esse fato demonstra a resiliência do ecossistema florestal frente a escassez hídrica e o importante papel dos indivíduos arbóreos adultos na captação e disponibilização de água nas camadas superficiais. Segundo RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., (2023) as áreas florestais remanescentes (fragmentos de floresta) apresentam a tendência prevista de exibir um desempenho mais favorável em relação à biodiversidade da macrofauna do solo.

## 11 CONCLUSÕES

Os maiores valores de acúmulo de serrapilheira foram observados no período chuvoso e no SAF02 e FFR. Os grupos de maior frequência foram os Hymenoptera, Oligochaeta, Coleoptera, Isoptera e larvas em geral.

Os maiores valores de abundância ocorreram na profundidade 0 – 10 cm, e nos SAF02, SAF03 e FFR, todos no período chuvoso. A riqueza de grupos permaneceu maior no SAF02 e FFR, no período chuvoso, e na profundidade 0-10 cm. Na profundidade 0-10 cm e período seco, os valores dos índices ecológicos da macrofauna edáfica foram menores.

É possível concluir que os SAF's biodiversos contribuem para a diversidade de organismos da macrofauna edáfica, e que o SAF02 apresenta índices ecológicos mais semelhantes ao FFR, caracterizando o de maior estabilidade e resiliência ambiental.

Além disso, futuras pesquisas sobre a fauna do solo em sistemas agroflorestais devem incorporar os princípios da teoria ecológica, explorando aspectos relacionados à estrutura, escala espacial e dinâmica funcional. Esses estudos são essenciais para compreender como esses fatores influenciam o funcionamento dos ecossistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASFAW, A.; ZEWUDIE, S. Soil macrofauna abundance, biomass and selected soil properties in the home garden and coffee-based agroforestry systems at Wondo Genet, Ethiopia. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 12, 1 dez. 2021.

BROWN, S. E. et al. Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: A systematic map protocol. **Environmental Evidence**, v. 7, n. 1, 29 out. 2018.

CASTLE, S. E. et al. Evidence for the impacts of agroforestry on ecosystem services and human well-being in high-income countries: a systematic map. **Environmental Evidence**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2022.

CPRM, **Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce** - Relatório 02: Geoquímica. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php). Acesso em: 26 ago. 2023.

DA SILVA, G. F. et al. Soil quality indicators under different land use systems in the Agreste region of Paraíba, Brazil. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25–35, 5 set. 2015.

DE IWATA, B. F. et al. **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>.

FIALHO, J. S. et al. Pedofauna diversity in traditional and agroforestry systems of the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, 1 jan. 2021.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo\\_tecnico\\_preliminar\\_ibama.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2023.

KHANGURA, R. et al. **Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. Sustainability (Switzerland)** MDPI, 1 fev. 2023.

MAR, M. G. Prefeitura municipal de jampruca – mg plano municipal de saneamento básico (pmsb) do município de jampruca – mg. 2016.

MARCHINI, D. C. et al. Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 574–580, 2015.

MARSDEN, C. et al. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. **Plant and Soil**, v. 453, n. 1–2, p. 29–44, 1 ago. 2020.

MARTINELLI, G. DO C. et al. Environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil. **World Development**, v. 122, p. 339–348, 1 out. 2019.

MARTINS, E. M. et al. Agroforestry system used for restoration at the atlantic forest. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 2, p. 632–648, 2019.

MASCARENHAS, A. R. P. et al. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19, 31 mar. 2017.

MELLONI, R. et al. Agroforestry system coffee-araucaria and its effect on soil microbiota and their processes. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784–795, 1 abr. 2018.

PARAMESH, V. et al. Integrated farming system approaches to achieve food and nutritional security for enhancing profitability, employment, and climate resilience in India. **Food and Energy Security**, v. 11, n. 2, 1 maio 2022.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.

PRINANDHIKA, G. M. et al. **Relationship of Macrofauna and Soil Organic Carbon in Various Types of Agroforestry, Sumberejo Village, Batuwarno District, Wonogiri Regency**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...Institute of Physics**, 2023.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, N. S. et al. Grassland management effect on ecosystem services in the livestock system in an oxisol from the Eastern high plains of Colombia. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 11 ago. 2023.

ROUSSEAU, G. X. et al. Shade tree identity rather than diversity influences soil macrofauna in cacao-based agroforestry systems. **Pedobiologia**, v. 89, 1 nov. 2021.

SCHEMBERGUE, A. et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9–30, 2017.

SHISO TOMA, R. et al. **Scientia ForeStaliS Temporal evolution of soil hydro-physical behavior of an agroforestry system on Ribeira Valley-SP**. [s.l: s.n.].

SIGNORELLI, N. Folha Itambacuri - SE.24-Y-A-I, escala 1:100.000. **Projeto Leste**, 1997.

VILELA, E. F.; MENDONÇA, E. S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**. Lavras, v. 8, n. 3, p. 354-363, jul./set. 2013.

VILLANUEVA-LÓPEZ, G. et al. Diversity of soil macro-arthropods correlates to the richness of plant species in traditional agroforestry systems in the humid tropics of Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 286, 1 dez. 2019.

YANARITA et al. Biodiversity of Soil Macrofauna in Jelutong (*Dyera lowii* Hook.F) based Agroforestry System on Peatlands. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, n. 7, p. 223–230, 2021.