

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da
Água



Dissertação

**Composição da fauna edáfica e sua relação com a qualidade do solo em
sistemas Agroflorestais no sul do Brasil**

Rafaela Glüge Batista

Pelotas, 2026

Rafaela Glüge Batista

**Composição da fauna edáfica e sua relação com a qualidade do solo em
sistemas Agroflorestais no sul do Brasil**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Manejo e Conservação do Solo e da
Água da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador(a): Prof. Dr. Ezequiel César Carvalho
Miola

Coorientador(as)(es): Profa. Dra. Lizete Stumpf;
Dr. Gilberto Bevilaqua
Dr. Gustavo Schiedeck

Pelotas, 2026

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

B333c Batista, Rafaela Glüge

Composição da fauna edáfica e sua relação com a qualidade do solo em sistemas agroflorestais no sul do Brasil [recurso eletrônico] / Rafaela Glüge Batista ; Ezequiel Cesar Carvalho Miola, orientador ; Lizete Stumpf, Gilberto Bevilaqua, Gustavo Schiedeck, coorientadores. — Pelotas, 2026.
51 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2026.

1. Quociente microbiano. 2. Quociente metabólico. 3. Entomobryomorpha. 4. Ácaro. I. Miola, Ezequiel Cesar Carvalho, orient. II. Stumpf, Lizete, coorient. III. Bevilaqua, Gilberto, coorient. IV. Schiedeck, Gustavo, coorient. V. Título.

CDD 631.46

Rafaela Glüge Batista

Composição da fauna edáfica e sua relação com a qualidade do solo em sistemas Agroflorestais no sul do Brasil

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 04 de março de 2026

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ezequiel César Carvalho Miola
(Orientador)

Doutor em Ciências do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria

Dr. Ernestino de Souza Gomes Guarino

Doutor em Botânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Juliana Brito da Silva

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

À pequena Rafaela, que brincava de ser
cientista, dedico.

Resumo

BATISTA, Rafaela Glüge. **Composição da fauna edáfica e sua relação com a qualidade do solo em sistemas Agroflorestais no sul do Brasil**. Orientador Prof. Dr. Ezequiel César Carvalho Miola. 62 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2026

A qualidade do solo pode ser avaliada por atributos físicos, químicos e biológicos. Esses fatores são interdependentes e sensíveis ao manejo ambiental e agropecuário. Os Sistemas Agroflorestais integram diferentes extratos e espécies produtivas, promovendo maior agrobiodiversidade e integrando os fatores relacionados aos atributos de qualidade do solo. O presente estudo avaliou a estrutura das comunidades edáficas de 8 Sistemas Agroflorestais nos municípios de Canguçu (RS) e Pelotas (RS). Foram analisadas a meso e macrofauna durante o inverno e primavera de 2024, associados a atributos físicos, químicos e microbiológicos destas áreas. Para isso, os dados foram submetidos à análise de redundância (RDA). As observações indicaram que a estruturação edáfica depende de diferentes conjuntos ambientais ao longo das estações. No inverno, os principais gradientes ecológicos foram relacionados aos quocientes microbiano e metabólico e aos fatores químicos. Na primavera, os fatores físico-químicos foram os mais impactantes para as comunidades. Logo, a fauna edáfica em SAF é estruturada por gradientes ambientais dinâmicos, diretamente relacionados ao manejo individual de cada sistema. SAFs com maior eficiência microbiana, com altos valores para qMic e COT e baixos valores para qCO₂, como os de 7, 5 e 15 anos de idade, apresentam comunidades edáficas estruturadas compostas por táxons como colêmbolos e isópodes

Palavras-chave: Quociente Microbiano; Quociente Metabólico; Entomobryomorpha; Ácaro

Abstract

BATISTA, Rafaela Glüge. **Edaphic fauna composition and its relationship with soil quality in Agroforestry systems in southern Brazil** Advisor: Prof. Dr. Ezequiel César Carvalho Miola. 62 f. Master's Thesis (Graduate Program in Soil and Water Management and Conservation) – Eliseu Maciel School of Agronomy. Federal University of Pelotas, 2026.

Soil quality can be assessed through physical, chemical, and biological attributes. These factors are interdependent and sensitive to environmental and agricultural management. Agroforestry Systems integrate different strata and productive species, promoting greater agrobiodiversity and integrating factors related to soil quality attributes. This study evaluated the structure of edaphic communities in eight Agroforestry Systems located in the municipalities of Canguçu (RS) and Pelotas (RS). Physical, chemical, and biological attributes were analyzed, as well as meso and macrofauna during the winter and spring of 2024. Data were subjected to redundancy analysis (RDA), and taxa dominance patterns, as well as soil quality attributes, were associated with the AFS and their management practices. The observations indicated that edaphic structuring depends on different environmental sets throughout the seasons. In winter, the main ecological gradients were related to microbial and metabolic quotients and chemical factors. In spring, physicochemical factors were the most impactful on communities. Thus, edaphic fauna in AFS is structured by dynamic environmental gradients, directly related to the individual management of each system. SAFs with greater microbial efficiency, characterized by high q_{Mic} and COT values and low q_{CO_2} values, such as those aged 7, 5 and 15 years, present structured edaphic communities composed of taxa such as springtails and isopods.

Keywords: Microbial quotient; Metabolic quotient; Entomobryomorpha; Mites

Lista de Figuras

Figura 1 - Atributos que tangem o funcionamento do solo	12
Figura 2 - Triângulo textural do solo	15
Figura 3 - Demonstração de arranjo espacial agroflorestal	18
Figura 4 - Sistema agroflorestal com espécies madeireiras, no município de Pelotas	18
Figura 5 - Sistema agroflorestal com integração animal, no município de Encruzilhada do Sul	19
Figura 6 - Sistema Agroflorestal com espécies frutíferas, no município de Canguçu	19
Figura 7 - Localização dos municípios de Pelotas e Canguçu	21
Figura 8 - SAF da família Schiavon implantado em 2012	21
Figura 9 - SAF da família Schiavon implantado em 2019	22
Figura 10 - SAF da família Schiavon implantado em 2022	22
Figura 11 – SAF da família Sturbelle implantado em 2012	23
Figura 12 – SAF da família Ferreira implantando em 2013	23
Figura 13 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2009	24
Figura 14 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2017	24
Figura 15 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2017	24
Figura 16 - Demonstração da malha de pontos	27
Figura 17 – Análise de redundância para a macrofauna no período do Inverno	32
Figura 18 - Análise de redundância para a mesofauna no período do Inverno ...	33
Figura 19 - Análise de redundância para a macrofauna no período da primavera	35
Figura 20 - Análise de redundância para a mesofauna no período da primavera	36
Figura 21 – Frequência relativa para a macrofauna do solo no inverno	37
Figura 22 - Frequência relativa para a mesofauna do solo no inverno	38
Figura 23 - Frequência relativa para a macrofauna do solo na primavera	38
Figura 24 – Frequência relativa para a mesofauna do solo na primavera	39

Lista de Abreviações

AFS – Agroforestry Systems

Al – Alumínio

Ca – Cálcio

CBM – Carbono da Biomassa Microbiana

CORE – Método de coleta da mesofauna por anel volumétrico

COT – Carbono Orgânico Total

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

H+Al – Acidez Potencial

K – Potássio

MaP – Macroporosidade

Mg – Magnésio

MiP – Microporosidade

MO – Matéria Orgânica

Na – Sódio

Pt – Porosidade Total

qCO₂ – Quociente Metabólico

qMic – Quociente Microbiano

RBS – Respiração Basal do Solo

RDA – Análise de Redundância

SAF – Sistema Agroflorestal

TSBF – Tropical Soil Biology and Fertility

V% – Saturação por Bases

Sumário

1. Introdução.....	10
2. Revisão de literatura.....	11
2.1 Atributos de qualidade do solo.....	11
2.2 Sistemas Agroflorestais	17
3. Metodologia	21
3.1 Área de estudo.....	21
3.2 Amostragem e análises de solo	27
3.3 Análises estatísticas.....	30
4. Resultados e discussão	31
4.1 Gradientes ambientais por estação.....	31
4.1.1 Inverno.....	31
4.1.2 Primavera	34
4.1.3 Estrutura edáfica e fatores ambientais.....	36
5. Considerações finais.....	43
Referências	44

1. Introdução

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um solo sustentar as suas funções ecossistêmicas, sejam elas agropecuárias ou ambientais. A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de atributos que caracterizem a saúde e funcionalidade (Filho *et al.*, 2024). Esses atributos podem ser alterados no espaço-tempo em decorrência do uso e manejo do solo. De forma geral, o conhecimento acerca dos atributos do solo pode promover uma maior produtividade agropecuária, baseando-se no manejo a ser adotado, contribuindo para a geração de renda de camponesas e camponeses e para sua segurança alimentar e nutricional. Ainda, podem direcionar as ações diretas e indiretas acerca da preservação e conservação ambiental.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) integram cultivos perenes, anuais e animais em um único espaço. Esses sistemas apresentam efeitos positivos sobre os atributos de qualidade do solo devido às práticas associadas aos agroecossistemas que visam a diversificação das espécies, cobertura contínua do solo e uso de plantas de serviço (Matos *et al.*, 2022). Sistemas Agroflorestais podem ser desenvolvidos de diferentes formas e manejos, de acordo com o interesse financeiro, a disposição de insumos e mão-de-obra e as condições ambientais locais, sendo sistemas flexíveis para diferentes contextos sociais, econômicos, culturais e ambientais.

Dessa forma, entende-se que os SAFs desempenham um papel importante na melhoria da saúde do solo, contribuindo positivamente para os atributos de qualidade. A biodiversidade de espécies favorece o incremento de diferentes atributos, como a matéria orgânica, os organismos edáficos e a estrutura do solo. Assim, monitorar diferentes atributos do solo em SAFs torna-se necessário para compreender como esses sistemas promovem a saúde e a sustentabilidade do solo ao longo do tempo, bem como identificar práticas de manejo agroflorestal que contribuam para a conservação da biodiversidade, a fertilidade do solo, a retenção de água no solo e o sequestro de carbono (Aragão *et al.*, 2026; Wang *et al.*, 2026).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a relação entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e a estrutura da comunidade edáfica (meso e macrofauna) em oito diferentes SAFs nos municípios de Canguçu e Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul.

Como objetivos específicos, o trabalho visa:

- a) Avaliar as diferenças de qualidade do solo entre SAFs jovens e antigos;
- b) Caracterizar a composição e a frequência relativa da meso e macrofauna edáfica nos diferentes SAFs;
- c) Analisar a relação entre a comunidade edáfica e os atributos químicos, físicos e biológicos do solo;
- d) Comparar essas relações entre diferentes estações do ano.

A hipótese do trabalho é que os atributos do solo atuam como estruturadores da comunidade edáfica em SAFs, sendo que os atributos biológicos, especialmente aqueles relacionados à atividade microbiana e ao carbono orgânico, exercem maior influência na organização da fauna, enquanto os atributos físicos e químicos apresentam papel complementar. Adicionalmente, espera-se que essa relação varie entre as estações e entre SAFs com diferentes composições, idade e histórico de manejo, resultando em distintos padrões de organização da macro e mesofauna edáfica.

Assim, o presente trabalho busca contribuir com o avanço do conhecimento sobre a dinâmica ecológica dos sistemas agroflorestais, considerando a integração da análise de diferentes atributos de qualidade do solo. A compreensão desses fatores pode contribuir com estratégias de manejo de base Agroecológica.

2. Revisão de literatura

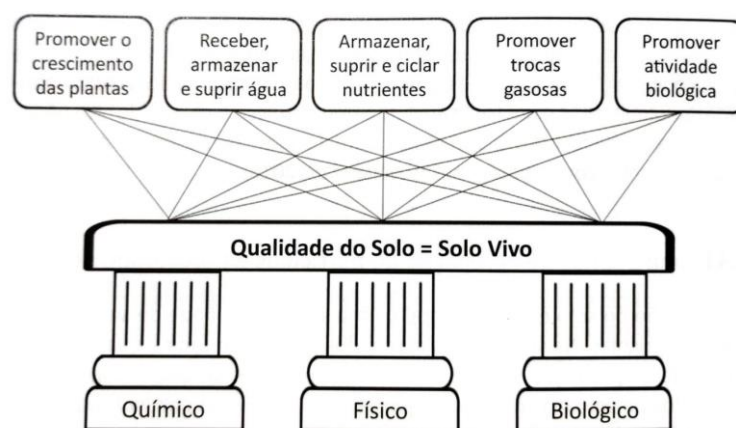
2.1 Atributos de qualidade do solo

Segundo Araújo *et al.* (2012), a qualidade do solo possui um conceito complexo, que está diretamente relacionado à capacidade de desempenhar as funções de um ecossistema, incluindo a sustentação da produtividade vegetal e animal, a condição de qualidade da água e do ar e a resiliência às mudanças e alterações dos sistemas. Essa qualidade não pode ser determinada diretamente, sendo necessário atributos físicos, químicos e biológicos para refletir a

funcionalidade do solo em um ecossistema (Silva *et al.*, 2020). Segundo Muñoz-Rojas *et al.* (2016), os atributos de qualidade do solo são frequentemente utilizados na avaliação de saúde do solo, principalmente, no monitoramento e avaliação das suas alterações no espaço-tempo. Assim, os atributos de qualidade do solo podem expressar características físicas, químicas ou biológicas dos diferentes processos sistêmicos, como a ciclagem de nutrientes, retenção hídrica e a atividade biológica (Silva *et al.*, 2021), sendo o solo capaz de desempenhar todas as suas funções através desses três atributos (Figura 1) (Steffen *et al.*, 2024).

Segundo Filho *et al.* (2024), o solo, enquanto sistema vivo, complexo e modificável no espaço-tempo, é responsável por abrigar uma enorme gama de organismos e imprescindível para sustentar a vida animal e vegetal, sendo os atributos biológicos do solo relacionados a uma ampla funcionalidade e sensibilidade, desempenhando funções complexas e específicas. Steffen *et al.* (2024) atribuem a fragmentação e decomposição de resíduos orgânicos, transformação e incorporação de matéria orgânica no perfil do solo, agregação de partículas, aeração e porosidade e a participação nos ciclos biogeoquímicos aos organismos edáficos, sendo as ações associadas aos organismos parte das diferentes estratégias relacionadas ao biofuncionamento do solo. Assim, todas as dinâmicas e todos os processos que ocorrem no solo estão em constante interação, principalmente com os organismos edáficos (Steffen *et al.*, 2024). Na tabela 1, é possível observar a relação da fauna edáfica com as suas funções ecossistêmicas e os serviços ecossistêmicos:

Figura 1 - Atributos que tangem o funcionamento do solo



Fonte: Steffen *et al.*, 2024

Tabela 1 - Organismos do solo, suas funções e principais serviços ecossistêmicos

Organismo edáfico	Funções ecossistêmicas do solo	Serviços ecossistêmicos
Macrofauna (minhocas, formigas, cupins, centopeias)	Engenheiros de ecossistemas Biorremediação	Formação do solo, ciclagem de nutrientes, Regulagem climática, Regulagem hídrica, Remediação, Recursos genéticos, Produção de alimentos, Produção de Bioquímicos, Produção de combustível
Mesofauna (ácaros, colêmbolos)	Modificadores de solo	
Microfauna (protozoários, nematóides)	Decompositores Estabilizadores de cadeia trófica	
Micróbios (Vírus, fungos, bactérias)	Biorremediação Decompositores Produção de gases Fixadores de N	

Adaptado de: FAO (2020)

Dentre os atributos de qualidade biológicos, podem ser analisados o quociente metabólico, o quociente microbiano, a atividade enzimática e as populações e relações ecológicas da micro, meso e macrofauna. O quociente metabólico se dá pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de biomassa microbiana do solo e tempo, sendo demonstrativo da eficiência no uso do substrato pelos microrganismos (Silva *et al.*, 2007). O quociente metabólico prediz que a biomassa bacteriana se torna mais eficiente quando menos carbono é perdido na forma de CO₂, possibilitando maior incorporação do carbono nos tecidos microbianos (Dionísio *et al.*, 2016). Segundo Junior e Mendes (2007), quocientes metabólicos elevados são associados a comunidades microbianas em processo inicial de desenvolvimento ou em estresse metabólico, apresentando mais microrganismos ativos do que inativos. O quociente microbiano fornece indicações acerca da qualidade da matéria orgânica a partir da relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total, sendo esse relacionado a utilização de carbono pelos microrganismos (Junior; Mendes, 2007). Ainda, seus resultados podem expressar as situações de estresse ambiental que tornam a capacidade de utilização de carbono ser menor, conduzindo ao decréscimo do quociente microbiano ou, ainda, a adição de matéria orgânica de boa qualidade, gerando um incremento do quociente

microbiano (Junior e Mendes, 2007). Os organismos da micro, meso e macrofauna são inerentes, direta ou indiretamente, a qualquer atributo de qualidade do solo. Arbolaez *et al.* (2023) apontam que a mesofauna é um bioindicador de qualidade de solo efetivo em sistemas agrícolas, uma vez que esses organismos são sensíveis à distúrbios ecológicos e têm relação com as funções sistêmicas do solo. Segundo Lugo *et al.* (2024), a macrofauna opera no solo de forma estratégica, conduzindo processos microbianos e contribuindo para a formação de agregados, na criação e manutenção do espaço poroso. Os organismos da fauna edáfica são classificados pelo seu tamanho corporal, conforme tabela 2.

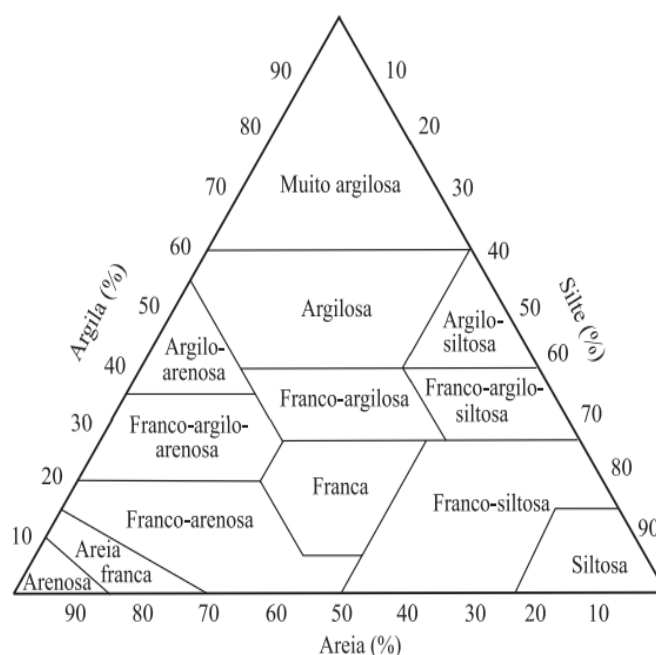
Tabela 2: Classificação da fauna edáfica

Organismo	Tamanho
Macrofauna	>2 mm
Mesofauna	0,2 mm a 2 mm
Microfauna	<0,2 mm

Adaptado de: Swift *et al* (1979)

Os principais atributos físicos dos solos são a textura, espessura dos horizontes, densidade; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (Araújo *et al.*, 2012). A textura é subjetiva, pode ser caracterizada através do tato e depende de uma classificação para ser expressa, sendo a forma mais comum de visualização das classes texturais em função da granulometria através do triângulo textural do solo, descrito por Lemos e Santos (1984) (Figura 2) (Lier, 2020).

Figura 2 - Triângulo textural do solo



Fonte: Lemos e Santos (1984)

A espessura, em especial, do horizonte superficial, é sugerida como um bom indicador de qualidade do solo, já que, nessa faixa, é possível encontrar a maior atividade de organismos edáficos, sendo um local propício para a ciclagem de matéria orgânica e nutrientes (Araújo *et al.*, 2012). A densidade é a uma propriedade física dinâmica, que varia em função da textura, seguindo as condições estruturais do solo e pode ser alterada pelo uso, manejo e cobertura do solo, sendo determinada pela razão entre a massa do solo seco pelo volume, que inclui as partículas e os espaços porosos entre as partículas (Arshad *et al.*, 1996). A resistência à penetração, segundo Arshad *et al.* (1996), é a capacidade do solo a resistir a penetração de um objeto rígido. A determinação da resistência do solo à penetração se dá para averiguar a limitação, crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (Gardner *et al.*, 1999). A porosidade do solo é o espaço vazio entre as partículas onde ocorre a circulação de água e ar, sendo importante a classificação quanto ao tamanho para entender os processos de movimento livre de água e ar, crescimento de raízes e armazenamento de água (Araújo *et al.* 2012). Os poros podem ser classificados como macro, meso, micro e criptoporos, suas características podem ser observadas na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação e funções dos poros do solo

Classificação	Raio (µm)	Diâmetro (µm)	Função
Macroporos	> 25	> 50	Aeração e distribuição rápida de água após eventos de infiltração
Mesoporos	1,5 - 25	3 – 50	Armazenamento de água facilmente disponível às plantas e aeração
Microporos	0,1 - 1,5	0,2 – 3	Armazenamento de água disponível, com restrições, às plantas
Criptoporos	< 0,1	< 0,2	Armazenamento de água indisponível às plantas

Adaptado de: Lier *et al.* (2020)

As propriedades físicas do solo são diretamente relacionadas com o desenvolvimento radicular, o armazenamento de água e nutrientes, as trocas gasosas e a atividade biológica, tendo a última efeitos sobre os parâmetros que tangem a porosidade, agregação e aeração do solo (Steffen *et al.*, 2024). Araújo *et al.* (2012) apontam que um solo cujas características proporcionam uma alta macroporosidade deve, logicamente, apresentar uma alta condutividade hidráulica saturada e capacidade de infiltração. Essas ponderações demonstram que os atributos físicos de qualidade do solo são, inerentemente, relacionados entre si.

Os atributos químicos estão relacionados com o teor de matéria orgânica, a reação, o conteúdo de nutrientes, a saturação por bases e por alumínio e a capacidade de troca de cátions (Araújo *et al.*, 2012). A reação do solo está associada ao pH, um parâmetro importante, principalmente para solos tropicais, uma vez que a sua acidez pode estar associada à presença de alumínio e manganês em quantidades tóxicas para vegetais, bem como, quando aliada a saturação por alumínio, pode ocorrer deficiência de outros nutrientes (Silva *et al.*, 2020). A capacidade de troca de cátions é a quantidade de cátions, como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4^+ , que um material pode reter (Silva *et al.*, 2020) em razão da presença de componentes do solo com superfícies eletricamente carregadas negativamente, atraindo cátions de forma reversível, sendo esse um atributo importante para atestar a fertilidade do solo, refletindo a sua capacidade de armazenar nutrientes prontamente disponíveis (Ronquin, 2010). A Saturação por bases é uma medida da quantidade de cátions básicos em relação à capacidade total de troca de cátions, sendo esse um conceito importante, uma

vez que os solos podem ser classificados a partir do valor percentual da saturação por bases, como os solos eutróficos com saturação por bases maior ou igual a 50% e os solos distróficos com saturação por bases menor que 50% (Ronquin, 2010). A saturação por alumínio indica a proporção de alumínio em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na Capacidade de Troca Catiônica do solo (Campos *et al.*, 2017). A Matéria Orgânica do Solo é o material orgânico total no solo, incluindo os resíduos identificáveis de plantas, resíduos de animais do solo e microrganismos, matéria orgânica dissolvida, exsudatos radiculares e substâncias húmicas macromoleculares (Stevenson, 1994) e está associada a estabilização e agregação de partículas, a prover fonte de carbono para os microrganismos, gerando maior eficácia do armazenamento e fluxo de água e ar do solo, armazenamento e disponibilização de nutrientes e a retenção de carbono da atmosfera (Lopes e Guilherme, 2007). Cabe ressaltar que a degradação de resíduos na superfície do solo depende, essencialmente, dos organismos edáficos e essa atividade sobre os resíduos representa o início do processo que resultará na imobilização, mineralização e ciclagem de nutrientes (Steffen *et al.*, 2024).

2.2 Sistemas Agroflorestais

Em princípio, Sistemas Agroflorestais (SAFs) são áreas de manejo que integram cultivos perenes, animais e/ou cultivos anuais com o objetivo de alcançar uma boa qualidade na entrega de serviços sistêmicos e uma maior produtividade e diversidade de produtos, como frutas, grãos, hortaliças, madeira e forragem, sendo a complexidade ecológica e socioeconômica intrínseca aos sistemas (Sanchez, 1995) (Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6).

Figura 3 - Demonstração de arranjo espacial agroflorestal



Fonte: Autora (2024)

Figura 4 - Sistema agroflorestal com espécies madeireiras, no município de Pelotas



Fonte: Autora (2024)

Figura 5 - Sistema agroflorestal com integração animal, no município de Encruzilhada do Sul



Fonte: Autora (2024)

Figura 6 - Sistema Agroflorestal com espécies frutíferas, no município de Canguçu



Fonte: Autora (2024)

Carvalho *et al.* (2024) descrevem que a introdução de animais, árvores e arbustos em áreas de lavoura tem potencial para restaurar ciclos biogeoquímicos e reintroduzir a multifuncionalidade de ecossistemas naturais, aumentando a complexidade estrutural e gerando impactos no microclima, disponibilidade hídrica e diversidade biológica. Segundo Pohlmann *et al.* (2024), os sistemas agroflorestais, através da diversificação produtiva em pequenos agroecossistemas da agricultura camponesa, são importantes frente às adversidades climáticas; contribuindo, significativamente, para superar os desafios relacionados à segurança alimentar e energética (Carvalho *et al.*, 2024), aumentando a resiliência às mudanças climáticas (Gnonlonfoun *et al.*, 2019).

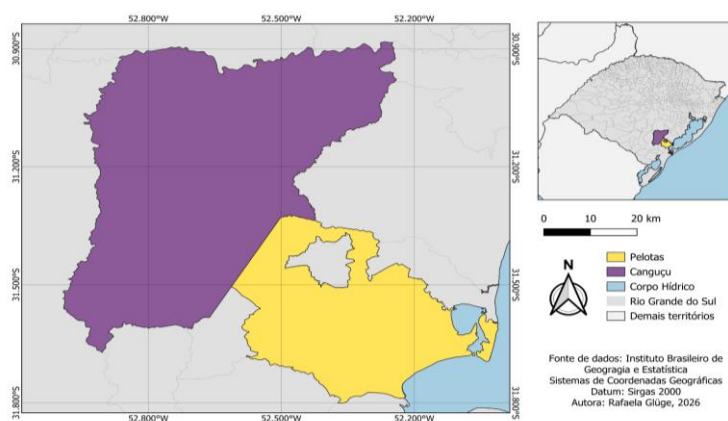
De acordo com Pezarico *et al.* (2013), Sistemas Agroflorestais são promissores para se elevar a qualidade do solo, apresentando resultados que contribuem significativamente para a melhoria de atributos de qualidade dos solos, sendo o grande acúmulo de matéria orgânica um aporte para as condições favoráveis para a atividade microbiológica. Padovan *et al.* (2022), demonstram que a ciclagem de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio são favorecidas pela grande diversidade vegetal associada aos Sistemas Agroflorestais. Assim, os SAFs podem estar associados ao incremento da fertilidade do solo (Macedo *et al.*, 2024; Hanke *et al.*, 2024 a), aumento dos estoques de carbono e nitrogênio do solo (Vicente *et al.*, 2023; Xiang *et al.*, 2023; Hanke *et al.*, 2024 b; Verma *et al.*, 2024), maior estabilidade de agregados do solo (Macedo *et al.*, 2024), além de estarem associados à preservação de áreas ambientais e a geração de renda para camponesas e camponeses (Agostinho *et al.*, 2023). Segundo Padovan *et al.* (2022), o incremento de espécies vegetais em agroecossistemas pode contribuir com a manutenção e melhoria da quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo, com a proteção do solo, com o incremento da fertilidade e suas propriedades físicas.

3. Metodologia

3.1 Área de estudo

Os Sistemas Agroflorestais foram escolhidos a partir de suas diferentes características de manejo, idade, componentes vegetais e funcionalidade nos municípios de Canguçu e Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 7).

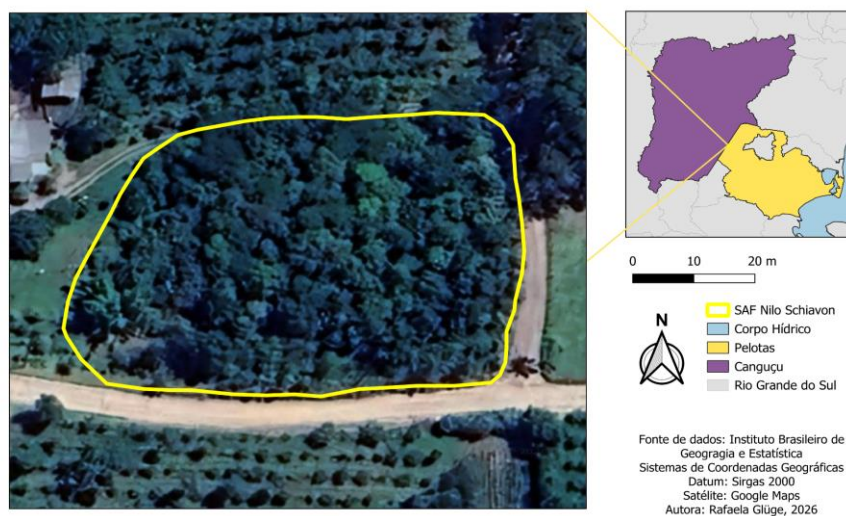
Figura 7 - Localização dos municípios de Pelotas e Canguçu



Fonte: Autora (2026)

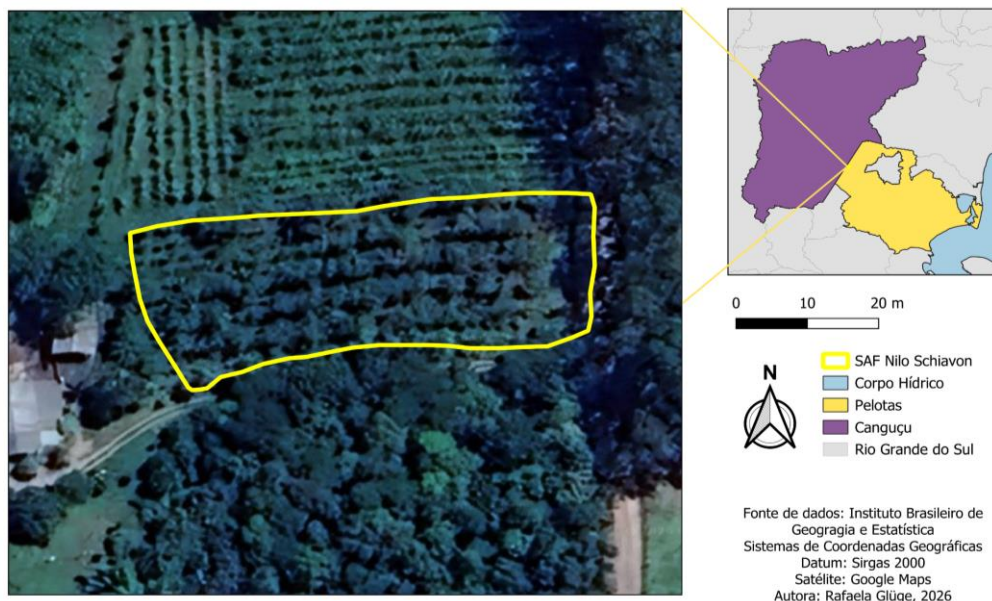
Em Pelotas, na propriedade da família Schiavon, foram realizadas coletas em três SAFs, com implantação em 2012 (Figura 8), 2019 (Figura 9) e 2022 (Figura 10), respectivamente.

Figura 8 - SAF da família Schiavon implantado em 2012



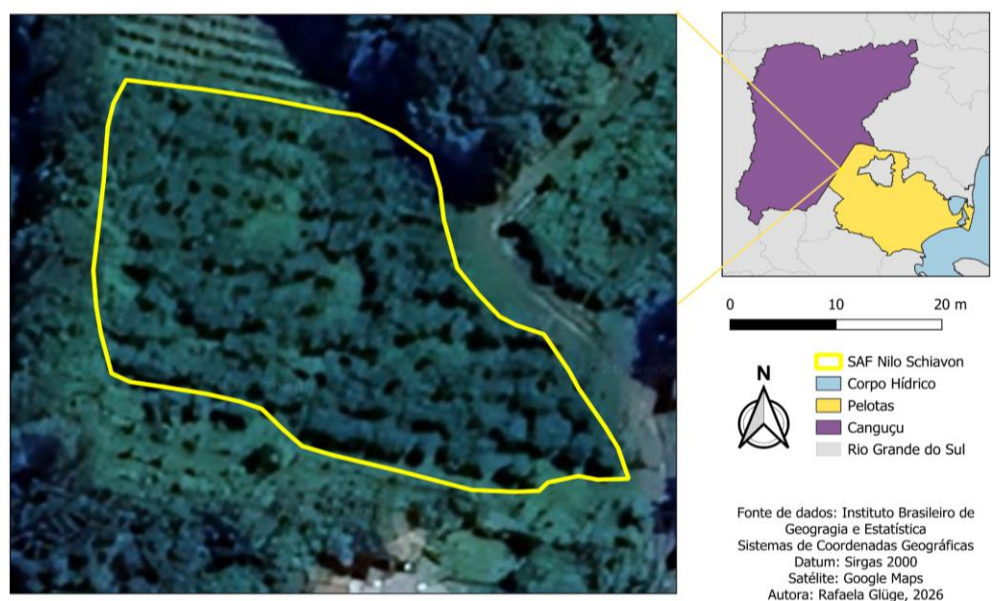
Fonte: Autora (2026)

Figura 9 - SAF da família Schiavon implantado em 2019



Fonte: Autora (2026)

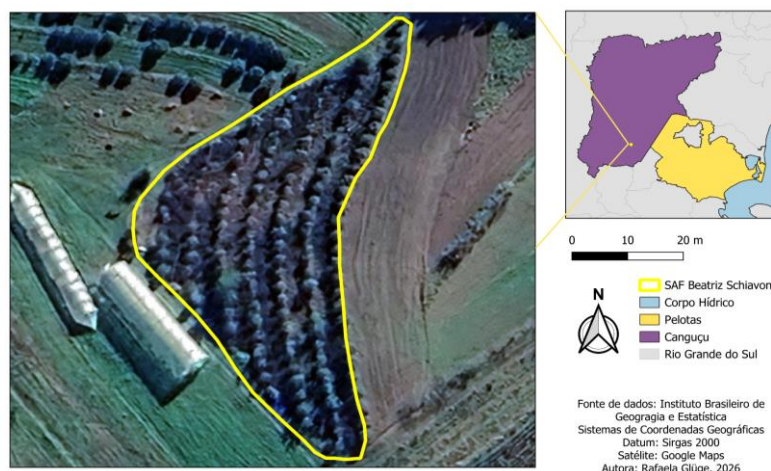
Figura 10 - SAF da família Schiavon implantado em 2022



Fonte: Autora (2026)

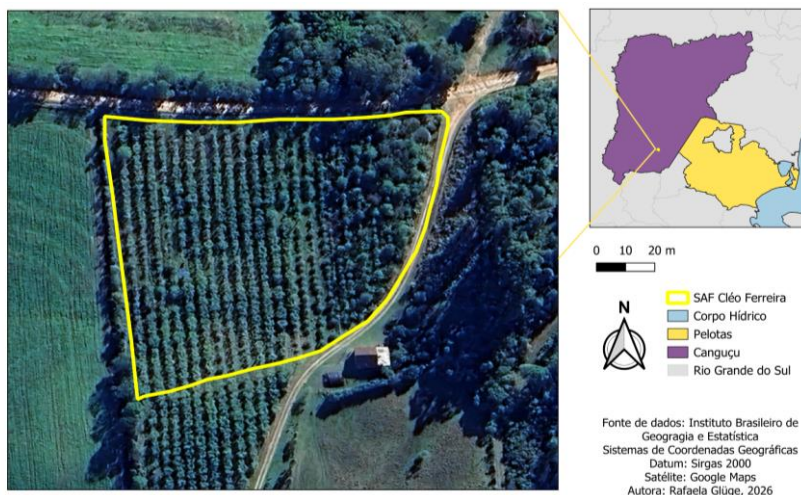
Nas propriedades da família Sturbelle e família Ferreira, localizadas em Canguçu, foram coletadas amostras em um SAF por propriedade, sendo esses implantados em 2012 (Figura 11) e 2013 (Figura 12), respectivamente.

Figura 11 – SAF da família Sturbelle implantado em 2012



Fonte: Autora (2026)

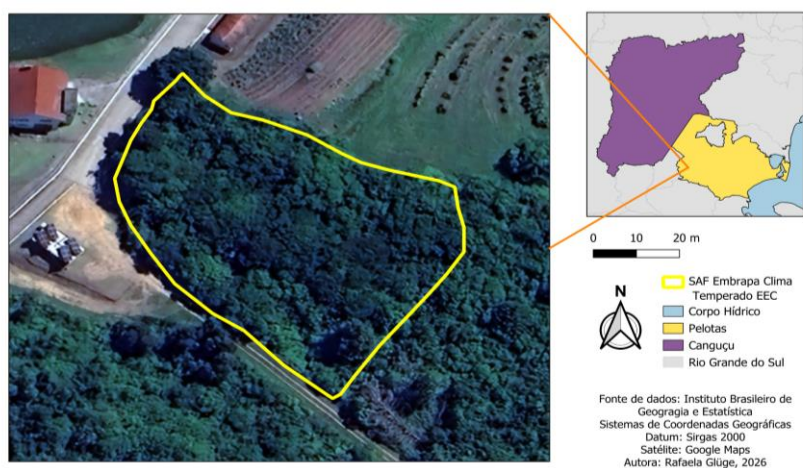
Figura 12 – SAF da família Ferreira implantando em 2013



Fonte: Autora (2026)

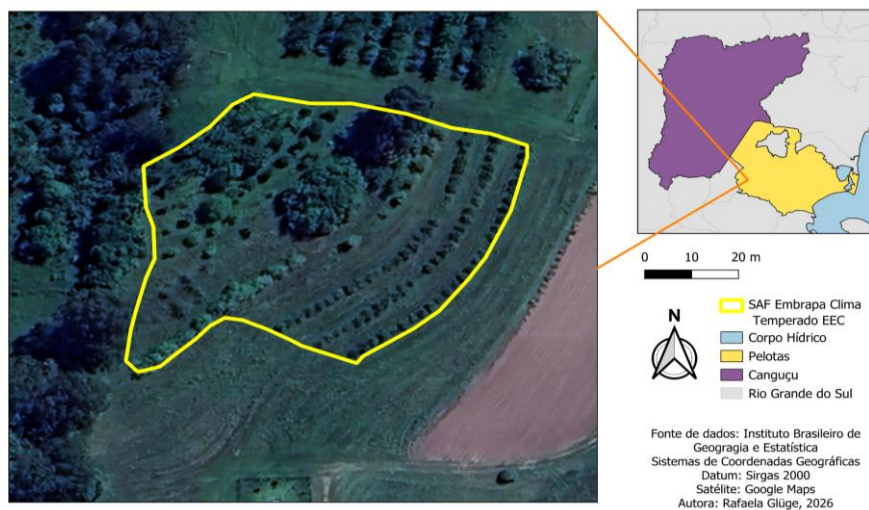
Na Embrapa Clima Temperado Estação Experimental Cascata, em Pelotas, foram feitas coletadas amostras em três SAFs, implantados em 2009 (Figura 13), 2017 (Figura 14) e 2019 (Figura 15). O SAF implantado em 2009 não é mais submetido ao manejo agropecuário para cultivá-lo como um SAF, tendo cumprido a sucessão ecológica para a formação de vegetação arbórea.

Figura 13 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2009



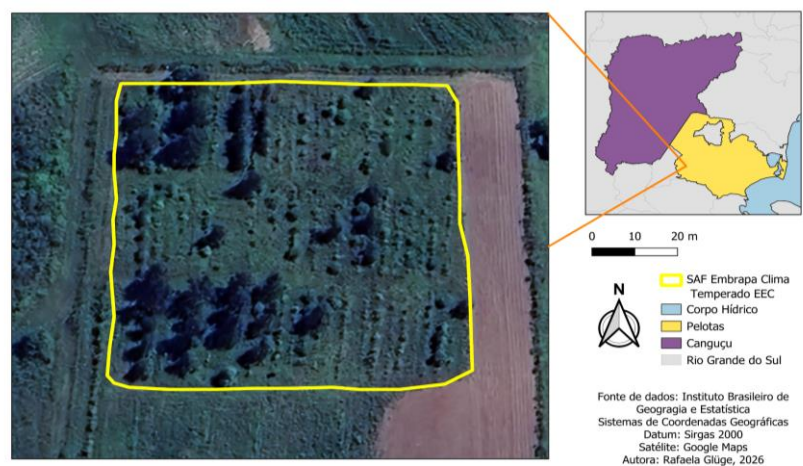
Fonte: Autora (2026)

Figura 14 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2017



Fonte: Autora (2026)

Figura 15 – SAF da Estação Experimental Cascatinha implantado em 2017



Fonte: Autora (2026)

A tabela 4 mostra, para cada SAF, o tipo de solo, a textura do solo, o ano de implantação e o tamanho das áreas.

Tabela 4: Características gerais de cada área

Propriedade	Denominação de estudo	Tipo de solo	Textura do solo	Implantação	Tamanho
Família Sturbelle	SAF 1	Argissolo Amarelo distrófico	Franco Arenoso	2012	0,2 ha
Família Ferreira	SAF 2	Argissolo Amarelo distrófico	Franco Arenoso	2013	1 ha
Embrapa Clima Temperado	SAF 3	Argissolo Amarelo distrófico	Franco Argilo Arenoso	2017	0,4 ha
Embrapa Clima Temperado	SAF 4	Argissolo Amarelo distrófico	Franco Argilo Arenoso	2019	0,7 ha
Embrapa Clima Temperado	SAF 5	Argissolo Amarelo distrófico	Franco Argilo Arenoso	2009	0,5 ha
Família Schiavon	SAF 6	Neossolo Litólico distrófico	Franco Arenoso	2012	0,3 ha
Família Schiavon	SAF 7	Neossolo Litólico distrófico	Franco Arenoso	2019	0,15 ha
Família Schiavon	SAF 8	Neossolo Litólico distrófico	Franco Arenoso	2022	0,15 ha

Fonte: Autora, 2026

Além disso, as áreas apresentam as seguintes características:

- a) Família Schiavon: Trabalho de base Agroecológica voltado a produção de alimentos, mão de obra familiar e camponesa. As principais espécies dos sistemas são: Louro (*Cordia trichotoma*), Noz-Pecã (*Carya illinoensis*), Pitanga (*Eugenia uniflora*), Angico vermelho (*Parapiptadenia rígida*),

Araçá (*Psidium cattleianum*), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), Pêssego (*Prunus pérsica*), Guabiju (*Myrcianthes pungens*), Amora (*Rubus sellowii*), Ipê (*Tabebuia umbrellata*), Guaçatonga (*Casearia decandra*), Aroeira (*Schinus terebinthifolia*), Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*), Pitaya (*Selenicereus undatus*), Limão (*Citrus spp.*), Tarumã de espinho (*Vitex montevidensis*), Guajuvira (*Patagomula americana*), Jambolão (*Syzygium cumini*), Ananás (*Ananas comosus*), Banana (*Musa spp.*), Bergamota (*Citrus spp.*). Não é realizada irrigação. São realizadas podas periódicas e feita a deposição dos resíduos sobre o solo. São realizadas adubação, calagem e rochagem periódicas. É realizado o cultivo de adubos verdes em algumas entrelinhas

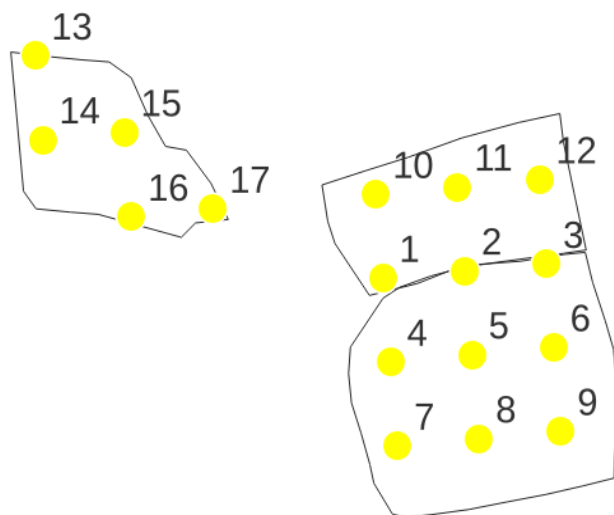
- b) Família Sturbelle: Trabalho de base Agroecológica voltado a produção de alimentos, mão de obra familiar e camponesa. As principais espécies do sistema são: Araucária (*Araucaria angustifolia*), caqui (*Diospyros kaki*), marmelo (*Cydonia oblonga*), Nêspera (*Eriobotrya japonica*), Maçã (*Malus domestica*), Guabiju (*Myrcianthes pungens*), Pitanga (*Eugenia uniflora*), Laranja (*Citrus spp.*), Bergamota (*Citrus spp.*) e acácia (*Acacia spp.*). Não é realizada irrigação. São realizadas podas periódicas e feita a deposição dos resíduos sobre o solo. São realizadas adubação, calagem e rochagem periódicas. Há a cobertura do solo com amendoim forrageiro em algumas entrelinhas.
- c) Família Ferreira: Trabalho de base Agroecológica voltado a produção de alimentos, mão de obra familiar e camponesa. As principais espécies são: Grápia (*Apuleia leiocarpa*), Canjerana (*Spondias dulcis*), Angico (*Anadenanthera colubrina*), Louro (*Cordia trichotoma*), Ananás (*Ananas comosus*), Araçá (*Psidium cattleianum*), Butiá (*Butia spp.*), Banana (*Musa spp.*), Guabiju (*Myrcianthes pungens*), Noz-Pecan (*Carya illinoensis*), Abacate (*Persea americana*), Limão (*Citrus spp.*) e Bergamota (*Citrus spp.*). Não é realizada irrigação. São realizadas podas periódicas e feita a deposição dos resíduos sobre o solo. São realizadas adubação, calagem e rochagem periódicas. Há o trânsito de máquinas em algumas entrelinhas. É realizado o cultivo de adubos verdes em algumas entrelinhas

d) Embrapa Clima Temperado Estação Experimental Cascatinha: Trabalho voltado a pesquisa e extensão para a ciência Agroecológica. As principais espécies dos sistemas são Banana (*Musa spp.*), Cereja (*Eugenia involucrata*), Figo (*Ficus carica*), goiaba (*Psidium guajava*), araçá (*Sidum cattleyanum*), guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*), pêssego (*Prunus pérsica*), pitanga (*Eugenia uniflora*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), laranja (*Citrus spp.*), limão (*Citrus spp.*), bergamota (*Citrus spp.*) e guabiju (*Myrcianthes pungens*). São realizadas podas periódicas e feita a deposição dos resíduos sobre o solo. São realizadas adubação, calagem e rochagem periódicas. Há o trânsito de máquinas em algumas entrelinhas.

3.2 Amostragem e análises de solo

As amostras de solo foram realizadas durante o inverno e primavera de 2024. Com a ferramenta QGis 3.32.0 ® foram gerados polígonos das áreas de coleta e malha amostral com pontos a cada 20 metros, conforme imagem (Figura 16).

Figura 16 - Demonstração da malha de pontos



Fonte: Autora, 2024

Em cada estação, foram sorteados quatro pontos de coleta onde se obteve:

- a) Amostras coletadas em anéis volumétricos de cinco centímetros de diâmetro e altura para a determinação da densidade e porosidade do solo na camada de 0,10-0,15 m
- b) Amostras coletadas em anéis volumétricos de dez centímetros de diâmetro e altura na camada de 0,00-0,10 m para a análise da mesofauna do solo;
- c) Monolitos amostrados na camada de 0,00-0,25 m para determinação da macrofauna do solo.
- d) Amostras compostas do solo, coletadas com pá na camada de 0,00-0,20 m para as análises microbiológicas (Respiração Basal do Solo, Carbono da Biomassa Microbiana, Quociente metabólico e Quociente microbiano) e químicas (Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica, Acidez Ativa, Acidez Potencial, Fósforo, Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Alumínio, H+Al, CTC efetiva, CTC em pH 7,0 e Saturação por Bases (V%))

A macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade total foram definidas através da submissão de anéis volumétricos à mesão de tensão à -6 KPa (EMBRAPA, 1997) As variáveis foram definidas pelas seguintes equações, respectivamente (Fórmula 1, Fórmula 2, Fórmula 3 e Fórmula 4):

Fórmula 1: Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

$$MaP = \frac{SS - S6KPa}{VA}$$

Onde:

MaP: Macroporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

S6KPa: Solo à -6KPa

VA: Volume do anel

Fórmula 2: Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

$$MiP = \frac{S6KPa - Ss}{VA}$$

Onde:

MiP: Microporosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

S6KPa: Solo à -6KPa

Ss: Solo seco

VA: Volume do anel

Fórmula 3: Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

$$Pt = MaP + MiP$$

Onde:

Pt: Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

MaP: Macroporosidade

MiP: Microporosidade

Fórmula 4: Densidade do solo (g cm^{-3})

$$d = \frac{Ss}{VA}$$

Onde:

d: densidade do solo (g cm^{-3})

Ss: Solo seco

VA: Volume do anel

A macrofauna foi realizada utilizando o método Tropical Soil Biology and Fertility (Anderson e Ingram, 1993) onde os organismos foram coletados manualmente, considerando aqueles com tamanho superior a 2 mm. A mesofauna do solo foi determinada utilizando anéis volumétricos de dez centímetros submetidos a funis de Berlese durante três dias. Após a extração, os organismos foram identificados, quando possível, até o nível de gênero. Quando não identificado ao nível de gênero, foram identificados em nível de ordem (por exemplo: Entomobryomorpha) ou, ainda, identificados em nível de classe (por exemplo: Collembola). A partir disso, se organizou a classificação dos organismos por *táxons*.

A análise da Respiração Basal do Solo (RBS) seguiu o método descrito por Silva *et al.* (2007 a), onde as amostras de solo previamente peneiradas foram acondicionadas em ambiente hermético com frascos contendo hidróxido de sódio (NaOH) para realizar a captura do dióxido de carbono (CO_2); a respiração é determinada com a soma de todas as funções metabólicas em que o dióxido

de carbono (CO₂) é emitido em resultado da degradação da matéria orgânica da amostra; os resultados foram expressos em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹. A análise do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) seguiu a metodologia proposta por Silva *et al.* (2007 b), onde os resultados são obtidos pelo método fumigação-extração; os resultados foram expressos em mg C kg⁻¹ de solo.

O quociente metabólico (qCO₂) foi obtido através do método descrito por Silva *et al.* (2007 a), onde se obtém a relação entre a RBS e a CBM (Fórmula 5).

Fórmula 5: Quociente metabólico

$$qCO_2(mg\ C - CO_2\ g^{-1}\ C - CBM\ h^{-1}) = \frac{RBS\ (C - CO_2\ Kg^{-1}\ solo\ h^{-1})}{CBM\ (mg\ C - CO_2\ Kg^{-1}\ solo) \times 10^{-3}}$$

O quociente microbiano foi obtido pelo método descrito por Silva *et al.* (2007 b), a partir da relação do Carbono Orgânico Total por unidade de Carbono da Biomassa Microbiana (Fórmula 6)

Fórmula 6: Quociente Microbiano

$$qMic\ (\%) = \frac{CBM\ (mg\ C\ microbiano\ Kg^{-1}\ solo)}{COT\ (g\ Kg^{-1}) \times 1000} \times 100$$

O Carbono Orgânico Total (COT) foi obtido pelo método de combustão proposto por Walkley-Black (1934). O teor de COT foi expresso em %. As análises de Potássio, Fósforo, Sódio, Calcio, Magnésio, Alumínio, pH, Capacidade de Troca de Cátions e Saturação por Bases foram realizadas seguindo os métodos descritos por Tedesco *et al.* (1995).

3.3 Análises estatísticas

Os dados foram, inicialmente, submetidos à análise de redundância para definir quais variáveis ambientais teriam impacto no modelo de análise. A análise de redundância quantificou a composição das comunidades a serem explicadas pelas variáveis ambientais.

As análises de redundância foram realizadas utilizando o software CANOCO (versão 5.0), onde foi feita automaticamente a centralização e padronização das variáveis a fim de garantir compatibilidade nas comparações entre as variáveis de diferentes unidades. Análises preliminares foram realizadas separadamente para os conjuntos de variáveis físicas, químicas e biológicas, a fim de selecionar aquelas com maior poder explicativo. As variáveis com maior contribuição foram então incluídas nos modelos de RDA, que foram divididos entre os resultados obtidos pelo método TSBF e pelo método CORE. Os demais gráficos foram gerados no aplicativo StataSE e Microsoft Excel.

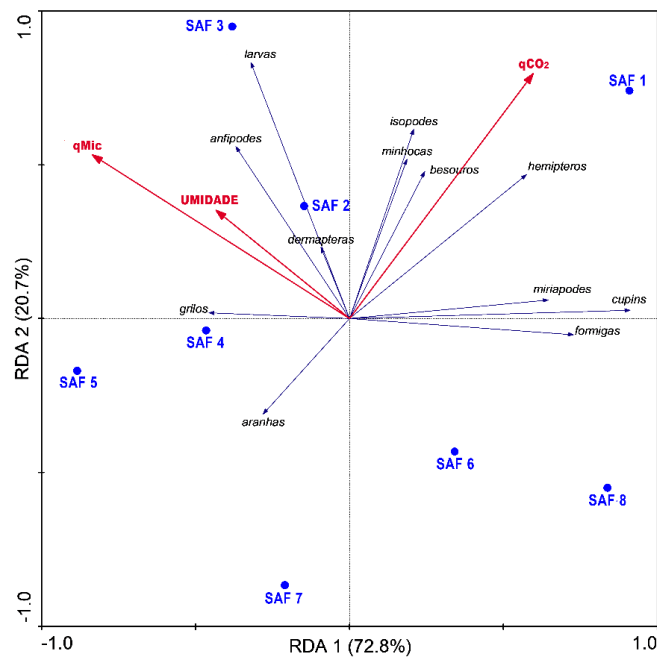
4. Resultados e discussão

4.1 Gradientes ambientais por estação

4.1.1 Inverno

A análise de redundância (Figura 17) indicou que as variáveis ambientais selecionadas explicaram 64,8% da variância da comunidade de macrofauna do solo amostrada pelo método TSBF no inverno. Os dois primeiros eixos concentram 93,5% da relação espécie-ambiente, ou seja, o gráfico bidimensional é suficiente para interpretar o comportamento da fauna edáfica explicada pelas variáveis ambientais.

Figura 17 – Análise de redundância para a macrofauna no período do Inverno



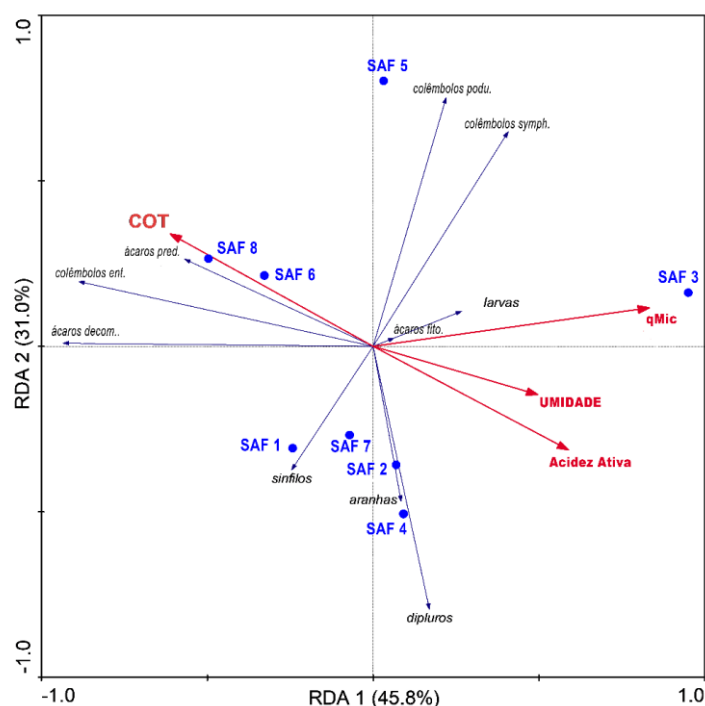
Fonte: Autora, 2026

A figura 17 mostra que o primeiro eixo (RDA 1) está associado a maior parte da variação da composição das espécies explicadas pelas variáveis ambientais, indicando uma direção ambiental clara para a organização biológica fortemente associada ao Quociente Microbiano (qMic) e ao Quociente Metabólico (qCO₂), ambos quocientes tiveram efeitos condicionais significativos, sendo qMIC ($p = 0,032$) e qCO₂ ($p = 0,034$). Também é possível observar uma divisão entre grupos associados à umidade e grupos associados ao qCO₂, indicando uma possível relação entre o armazenamento de água no solo e a dinâmica do carbono dos solos dos SAFs indicados neste eixo. Observa-se uma relação entre grupos como minhocas, isópodes, besouros e hemípteros e ao vetor que representa o quociente metabólico.

O segundo eixo (RDA 2) reflete uma diferença não capturada pelo primeiro eixo e explica o comportamento da umidade do solo. Entretanto, no modelo apresentado, a umidade não apresentou valor significativo ($p = 0,818$), podendo indicar que, no inverno, a umidade exerce um papel secundário nas comunidades da macrofauna. Dessa forma, no inverno, a macrofauna do solo respondeu, principalmente, a processos biológicos relacionados à atividade e metabolismo microbiano.

A análise de redundância para mesofauna (Figura 18) apresentou variância total explicada pelo modelo de 80,9%. Os dois primeiros eixos concentraram 76,8% da relação.

Figura 18 - Análise de redundância para a mesofauna no período do Inverno



Fonte: Autora, 2026

O primeiro eixo (RDA 1) apresentou o quociente microbiano ($p = 0,05$) e o carbono orgânico do solo ($p = 0,144$) como as variáveis ambientais de maior efeito condicional no modelo. No gráfico de ordenação, observa-se grupos da fauna edáfica posicionados negativamente à RDA 1 e associados ao Carbono Orgânico Total; paralelamente, há grupos posicionados no sentido positivo e associados ao Quociente Microbiano.

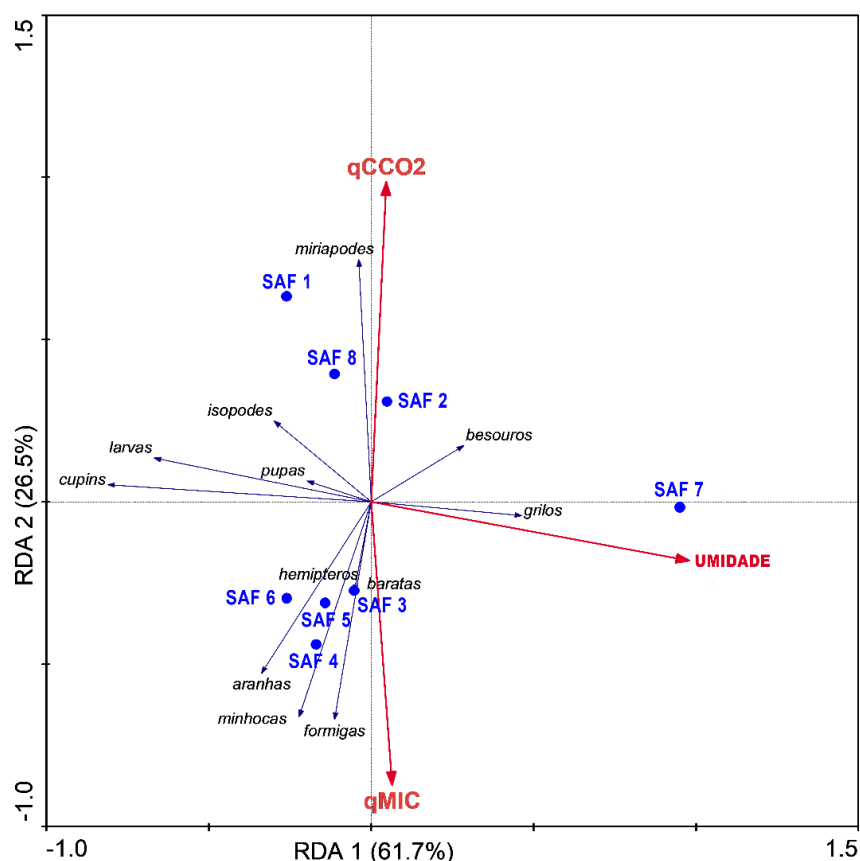
O RDA 2 expressou um gradiente ambiental complementar, ou seja, a umidade do solo ($p = 0,238$) e o pH ($p = 0,352$) não apresentaram efeitos condicionais significativos. Entretanto, a orientação gráfica indica influência secundária na organização de algumas comunidades, como diplópodes, aranhas e colêmbolos, indicando contribuições desses fatores ambientais ao gradiente biológico dominante no modelo.

Dessa forma, compreende-se que, para a mesofauna, durante o período do inverno, os atributos biológicos são os principais fatores para a organização das comunidades, a distribuição destas entre os vetores de qMic e COT demonstram a possibilidade de diferentes respostas frente a dinâmica do carbono no solo. Ainda, a Acidez Ativa contribui como um fator estruturante na distribuição das comunidades edáficas. A dominância dos atributos biológicos (qMic e COT) pode refletir as práticas de manejo adotadas em cada SAF. Sistemas que recebem maior aporte de biomassa através de podas, bem como possuem um maior número de espécies emergentes (que proporcionará maior sombra sob o dossel, levando a regulação térmica e acúmulo de umidade) tendem a apresentar valores mais altos para esses atributos biológicos, como SAF 6, SAF 8, SAF 3 e SAF 5. Considerando a idade de cada SAF, é possível observar que não há uma homogeneidade entre SAFs maduros e jovens para a representação desses atributos.

4.1.2 Primavera

A análise de redundância apresentou variância total explicada pelo modelo de 88,2% para as comunidades da macrofauna amostradas pelo método TSBF na primavera (Figura 19). Os dois primeiros eixos apresentam 88,2% da relação espécie-ambiente. O primeiro eixo é responsável por 61% do total e expressou um gradiente fortemente associado à umidade do solo ($p = 0,03$). Esse vetor evidencia a organização das comunidades edáficas no eixo ao redor dos teores de disponibilidade hídrica. O segundo eixo (RDA 2) é responsável por explicar 26,5% da relação espécie-ambiente e está associado ao quociente metabólico e ao quociente microbiano. Embora essas variáveis não tenham apresentado significância, a disposição dos vetores indica relações complementares à explicação da organização da fauna edáfica.

Figura 19 - Análise de redundância para a macrofauna no período da primavera



Fonte: Autora, 2026

De forma geral, a interpretação sugere que, na primavera, a disponibilidade hídrica no ambiente tem forte relação com a organização das comunidades edáficas. A contribuição das variáveis biológicas vai de encontro com os resultados observados na análise de RDA feita para a macrofauna no período do inverno, onde os fatores biológicos foram os principais responsáveis para a organização das comunidades edáficas, tendo a umidade como um efeito secundário para essa organização.

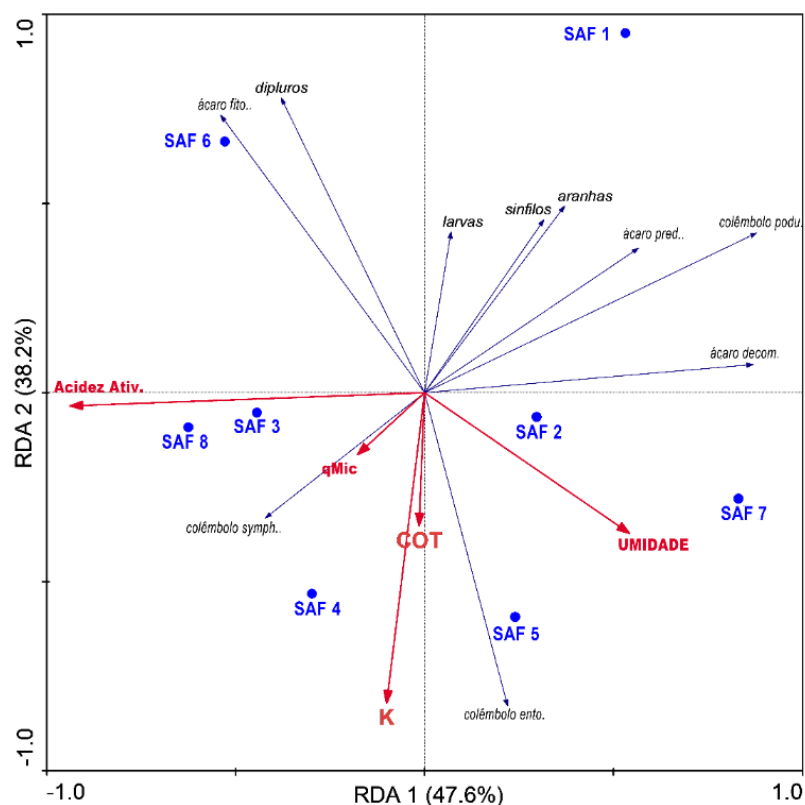
Em comparação ao inverno houve uma manutenção de alguns padrões biológicos, mas também, uma reorganização das comunidades em resposta às alterações ambientais e sazonais causadas pela transição inverno-primavera.

A análise de redundância que associa os atributos biológicos aos atributos químicos e físicos do solo, apresentou variância total explicada pelo modelo de 82,5% para a mesofauna (Figura 20) demonstrando que os fatores ambientais

exercem um grande controle sobre a mesofauna durante a primavera. O Eixo 1 explica 47,6% da variação espécie ambiente e está fortemente relacionada à Acidez Ativa do solo ($p = 0,002$) e ao potássio ($p = 0,05$).

O gradiente principal permite a interpretação para associar um quadrante à fertilidade e outro quadrante aos fatores biológicos. O eixo 2 explica 38,2% e, embora o carbono orgânico total, a umidade e o quociente microbiano não sejam significativos, apresentam papel secundário na organização das comunidades no eixo 2. Também é importante verificar a oposição entre os fatores associados à fertilidade química e os fatores associados a qualidade microbiológica, podendo refletir um comportamento diferenciado dos organismos frente às alterações de temperatura e umidade na primavera.

Figura 20 - Análise de redundância para a mesofauna no período da primavera



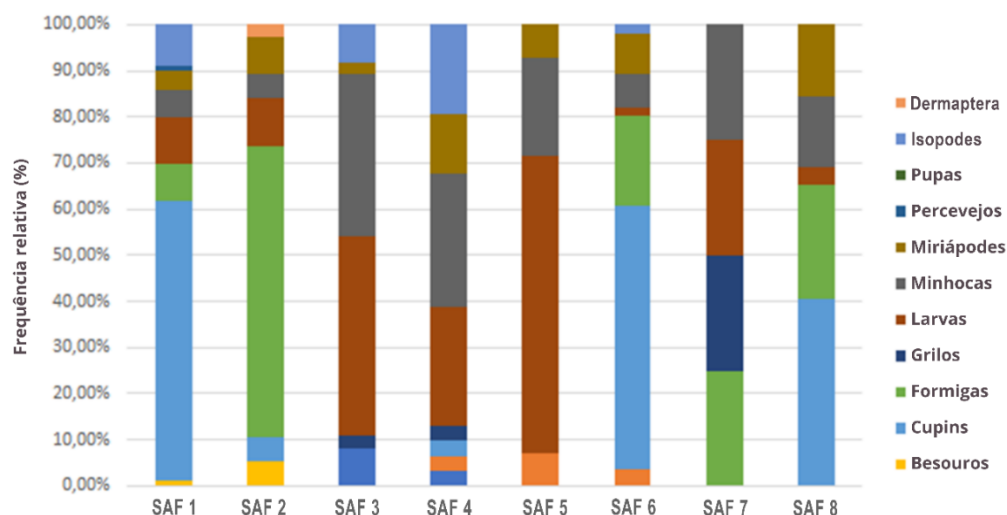
Fonte: Autora, 2026

4.1.3 Estrutura edáfica e fatores ambientais

Através das análises de redundância, foi possível observar quais fatores ambientais contribuem com a estruturação da fauna edáfica nos diferentes Sistemas Agroflorestais. A relação dos organismos com diferentes fatores ambientais dentro da sazonalidade permite a compreensão da sua importância sistêmica para a estabilidade dos ambientes agropecuários, como os SAFs. A fauna edáfica é um dos fatores mais importantes para determinar a saúde do solo, sendo os níveis de algumas variáveis, como carbono orgânico total e matéria orgânica do solo associados ao aumento da atividade de organismos (Ramos *et al.*, 2025). Segundo Oliveira *et al.* (2024), as interações entre organismos do solo melhoram as funções ecossistêmicas e estão associadas aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes para a manutenção da produtividade ecossistêmica.

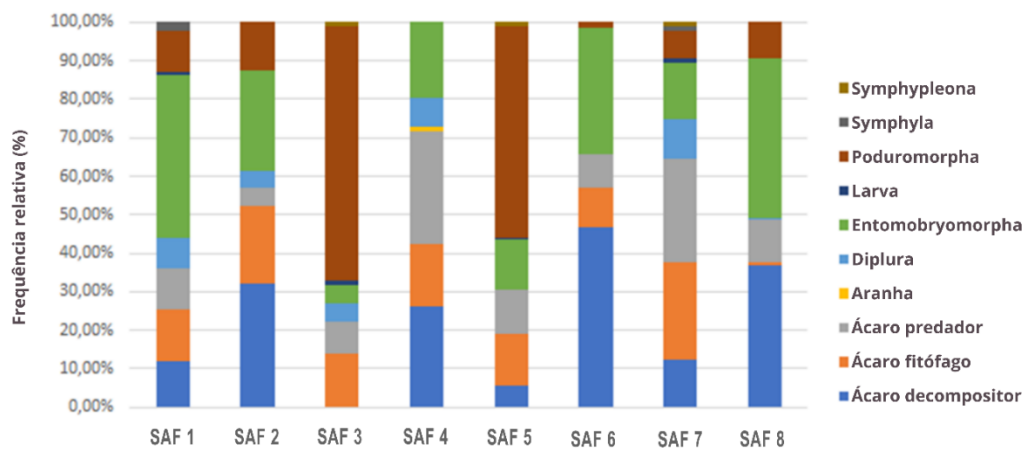
Segundo Baretta *et al.* (2024), a Frequência Relativa contribui com um panorama mais evidente para representar os organismos das áreas avaliadas. As figuras 21, 22, 23 e 24 demonstram a frequência relativa para a fauna edáfica nas diferentes estações.

Figura 21 – Frequência relativa para a macrofauna do solo no inverno



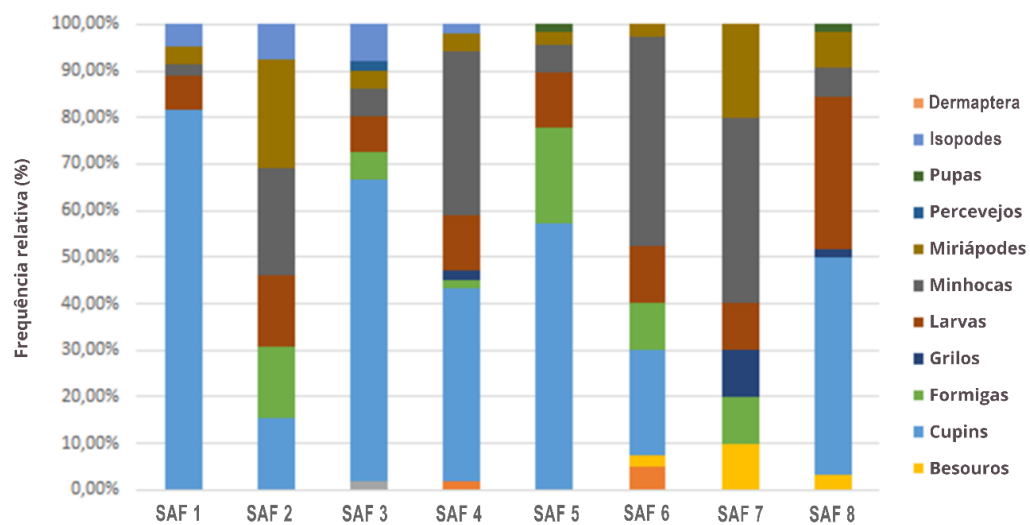
Fonte: Autora, 2026

Figura 22 - Frequência relativa para a mesofauna do solo no inverno



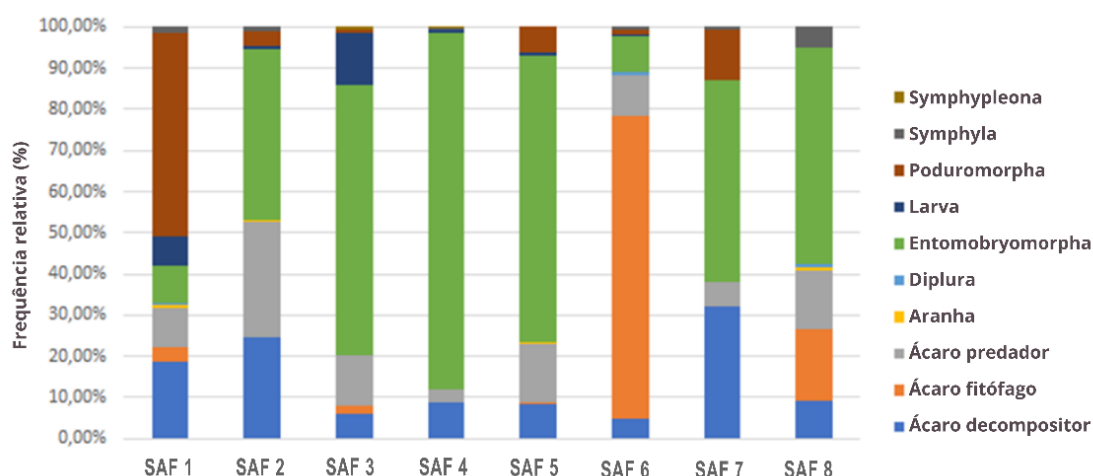
Fonte: Autora, 2026

Figura 23 - Frequência relativa para a macrofauna do solo na primavera



Fonte: Autora, 2026

Figura 24 – Frequência relativa para a mesofauna do solo na primavera



Fonte: Autora, 2026

Através das análises de redundância, observa-se que, durante o inverno, a estrutura da macrofauna apresenta padrões bem definidos em relação aos fatores microbiológicos. O SAF 1 apresenta uma associação forte com o quociente metabólico e proximidade com táxons como minhocas, isópodes, besouros e hemípteros. Embora haja essa associação, o táxon de maior frequência nesse SAF foi o cupim. A mesofauna, no inverno, apresentou uma relação do SAF 3 com o quociente microbiano. Foi observado que há uma maior frequência relativa de poduromorfos. Os SAF 6 e SAF 8 estiveram associados ao Carbono Orgânico Total e aos ácaros predadores e colêmbolos entomobriomorfos. Nesses SAF, os táxons mais frequentes foram ácaros decompositores e os poduromorfos.

No inverno, a macro e a mesofauna responderam as condições biológicas demonstradas pelo quociente metabólico e quociente microbiano. Os SAF 2, de 11 anos, SAF 3, de 7 anos, e SAF 4, de 5 anos, apresentam os valores mais altos para o quociente microbiano, indo de encontro com a sua posição no sentido positivo do gradiente principal na RDA (tanto CORE quanto TSBF). Segundo Bastos *et al* (2023), sistemas com espécies capazes de produzir serrapilheira em qualidade e quantidade tendem a apresentar valores para qMic

similares às florestas naturais. Todos os SAFs com maior aporte de q_{Mic} contam com espécies madeireiras e caducifólias que contribuem com o acúmulo de biomassa dentro das áreas de estudo; as espécies que promovem maior sombreamento e cobertura do solo, juntamente com a umidade dos sistemas, podem contribuir com ambientes mais favoráveis para a biomassa microbiana (Thomazini *et al.* 2015). O SAF 5, de 15 anos, que se comporta como uma floresta nativa, teve valores médios para q_{Mic} , corroborando com os autores. Em paralelo, o quociente metabólico (q_{CO_2}) apresentou valores similares entre SAF; no inverno o q_{CO_2} foi importante para diferenciar a organização das comunidades da macrofauna edáfica. O SAF 6 apresentou um valor associado ao maior gasto metabólico microbiano. Segundo Wang *et al.* (2026), as mudanças ambientais em sistemas agroflorestais podem contribuir com a variação de comunidades entre r-especialistas e k-estrategistas. O alto valor do SAF 6 pode estar associado ao manejo relacionado à adição de biomassa resultante das podas sazonais, acarretando o aumento de populações microbianas r-estrategistas associadas ao rápido crescimento populacional microbiano e maior taxa de respiração, gerando um aumento do q_{CO_2} . Ainda, Wang *et al.* (2026) também apontam que o aumento da complexidade microbiana dos sistemas agroflorestais está associado à maior estabilidade e complexidade do carbono lábil, uma vez que esse é a principal fonte de energia prontamente disponível para essas comunidades.

No inverno, o COT esteve associado ao gradiente principal para a mesofauna. Os SAF 6, de 12 anos, e SAF 8, de 2 anos, no inverno, apresentam valores altos para o COT em comparação aos demais e ambos os SAFs estavam alinhados com o vetor na distribuição observada na RDA para CORE. Segundo Hanke *et al.* (2024) o acúmulo temporal de COT nos Sistemas Agroflorestais no Sul do país está relacionado, primariamente, à entrada de novos materiais associados a Matéria Orgânica Particulada, sendo o carbono menos estabilizado pelas frações de argila do solo. Além disso, a fauna edáfica associada a saprofagia contribui para a fragmentação da serrapilheira e auxilia no processo de decomposição e movimentação dos detritos orgânicos ao longo do perfil do solo (Ramos *et al.*, 2025). Os sistemas agroflorestais identificados com os maiores aportes médios de COT também apresentaram alta abundância para

cupins, minhocas, ácaros decompositores e ácaros fitófagos (SAF 6, de 12 anos, SAF 7, de 5 anos, e SAF 8, de 2 anos). Ainda, esses SAF também apresentaram os menores teores de argila, indicando que os seus níveis de COT podem estar associados a dinâmica do carbono lábil do sistema e não a composição dos minerais do solo. Essa observação é muito pertinente para compreender que os fatores de manejo nos sistemas, associados a diversidade edáfica, podem contribuir significativamente com a saúde dos solos.

A macrofauna, na primavera apresentou mudanças nos padrões de associação. O SAF 1 manteve associação com o quociente metabólico, mas agora relacionado à ocorrência de miriápodes. Ainda assim, os cupins mantiveram-se como o grupo dominante na frequência relativa. Essa estabilidade funcional pode estar associada ao manejo e resíduos. Todos os SAF EEC apresentaram associação ao quociente microbiano e com organismos como formigas, minhocas e aranhas. Nesses sistemas, cupins e minhocas foram os táxons mais frequentes. Na primavera, há uma diminuição dos valores para o quociente microbiano e surgem outros fatores ambientais que explicam a organização das comunidades edáficas. Embora o quociente metabólico apresente valores médio mais altos para a primavera, a sua influência no comportamento das comunidades também é reduzida em decorrência da inclusão de outros fatores ambientais.

Na primavera, há um aumento médio geral para os valores de COT e ele passa a ter uma contribuição secundária na distribuição das comunidades. Assim, observa-se o COT como base energética para os processos associados ao metabolismo microbiano, especialmente no inverno e sendo responsável pela diferenciação dos SAF com maior ou menor aporte de matéria orgânica, indicando, novamente, uma diferenciação baseada no manejo de cada sistema. Segundo Liao *et al.* (2022), o COT atua como determinante na organização das comunidades microbiológicas do solo e auxilia na regulação de funções da microbiota. Na primavera, a influência pode estar associada ao gradiente de fertilidade junto com outros fatores que aparecem com maior significância.

Na primavera, a acidez ativa foi a variável mais significativa ($p=0,002$) e teve os SAF 3 e SAF 8 associados ao RDA 2. Segundo Ramos *et al.* (2025), os organismos do solo têm seu estabelecimento ecológico dependente do pH, dentre outros atributos do solo. Compreende-se que a acidez ativa foi o principal

fator químico estruturante da mesofauna na primavera e diferenciou as comunidades sensíveis à esse fator ambiental. Segundo Wang *et al* (2026), a acidez desempenha um papel importante na filtragem ambiental na organização das comunidades microbianas, independente do uso e cobertura do solo. No inverno, houve uma variação média inferior em relação a primavera e não houve significância desse fator nas análises de RDA, essa variação média entre estações pode estar relacionada à heterogeneidade das áreas associadas à calagem e rochagem realizadas pelas famílias camponesas.

Também na primavera, o potássio foi uma variável significativa ($p=0,05$) e associada ao RDA 1. A primavera apresenta valores mais homogêneos para potássio em relação ao inverno; no inverno, o SAF 7, de 5 anos, apresenta os valores mais elevados. Ramos *et al.* (2025), associam os teores elevados de K^+ em SAF ao manejo da fertilidade, cobertura contínua do solo e uma maior ciclagem de nutrientes. De forma geral, na primavera o potássio colabora na estruturação do gradiente de fertilidade no CORE, no inverno a sua influência não foi tão evidente. Segundo Bartz *et al.* (2014), embora o potássio possa se associar positivamente com grupos taxonômicos, seu aporte para a indicação da organização das comunidades está relacionado a outros fatores, como fósforo, pH e matéria orgânica.

A umidade foi a única variável significativa para TSBF na primavera ($p=0,03$) e foi o principal gradiente do RDA 1. Os SAF 2 e SAF 7 estiveram associados positivamente à essa variável. Na primavera, nota-se uma diminuição e homogeneidade geral dos valores médios para os SAF, sendo o SAF 7 o maior valor observado. A umidade foi o principal fator estruturante para a macrofauna e influenciou os padrões observados para a mesofauna. No inverno, observa-se maiores valores médios e menor influência direta na organização das comunidades edáficas. Esses valores médios elevados são consequência da alta precipitação e das catástrofes climáticas que ocorreram no Rio Grande do Sul no ano de 2024.

Os padrões de dominância da fauna edáfica permitem validar o comportamento das comunidades dentro dos gradientes ambientais identificados pela RDA. Os principais táxons identificados apresentaram dominância expressiva nos respectivos SAFs. Essa consistência permite ampliar a investigação acerca do comportamento das comunidades edáficas frente às

variáveis ambientais e os manejos agropecuários adotados pelas camponesas e camponeses.

A estruturação das comunidades varia entre estações, evidenciando alterações de importância dos fatores ambientais para a organização da fauna edáfica ao longo dos ciclos sazonais. No inverno as variáveis biológicas exercem maior influência na organização da fauna e na primavera os fatores físico-químicos são predominantes. Segundo Ortiz *et al* (2023), garantir a qualidade de solos agrícolas requer práticas que respeitem a agrobiodiversidade, como os Sistemas Agroflorestais, que favorecem um habitat adequado para um grande número de organismos do solo. Os Sistemas agroflorestais são capazes de promover relações positivas entre os atributos de qualidade do solo e a macrofauna edáfica, contribuindo para os serviços ecossistêmicos (Ramos *et al.*, 2025). Duran-Bautista *et al.* (2023) afirmam que SAF com maior complexidade e composição botânica promovem riqueza e diversidade da fauna edáfica, bem como sua relação com a qualidade do solo. Essa complexidade e composição estão diretamente associadas ao manejo e finalidade adotados pelas camponesas e camponeses, logo, a variação ambiental acerca de cada Sistema Agroflorestal está diretamente relacionada a capacidade de gerir, planejar e executar ações agropecuárias e, conseqüentemente, a qualidade do solo sob cada SAF.

5. Considerações finais

Resultante da análise integrada dos dados, estabelece-se que a fauna edáfica responde de forma específica para gradientes ambientais sazonais. Cada variável ambiental analisada está associada à táxons que podem indicar comportamentos ecológicos importantes para a compreensão da dinâmica dos agroecossistemas. A sazonalidade é responsável por uma reorganização estrutural para os gradientes ambientais e os fatores ambientais interdependem, não colaborando de forma isolada na organização das comunidades edáficas. Observou-se que o manejo de cada SAF influencia diretamente sobre os

atributos de qualidade dos solos, tornando difícil estabelecer parâmetros métricos homogêneos para a avaliação geral desses sistemas. Paralelamente, a idade dos SAF não necessariamente tem relação com a sua estabilidade ambiental, uma vez que os seus atributos de qualidade estão diretamente associados ao manejo.

A integração entre os atributos do solo e a fauna edáfica permitiu identificar SAFs com características específicas. O SAF 3, de 7 anos, demonstrou valores elevados de COT e qMic, associados ao menor valor de qCO₂ na primavera, indicando uma alta eficiência microbiana. Essas condições, nesse estudo, demonstram relação com a dominância de entomobryomorpha. No inverno, os SAFs 4, de 5 anos, e 5, de 15 anos, apresentaram altos valores para qMic e dominância para tatuzinhos. Essas relações contribuem para a perspectiva de que SAFs com maior eficiência microbiana estão associados à comunidades edáficas mais estruturadas e diversas. Ainda, o presente estudo contribui para a compreensão da dinâmica de organização ecológica das comunidades edáficas em sistemas agroflorestais no sul do Brasil assumindo a complexidade das relações ecossistêmicas. Sugere-se o monitoramento científicos de áreas de produção de base camponesa para compreender as relações humano-ambiente-solo.

Referências

- AGOSTINHO, Patrícia Rochefeler *et al.* **Sistemas agroflorestais biodiversos podem recuperar áreas de preservação permanente e gerar renda para a agricultura familiar?** Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. 68 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1156280/1/Sistemas-agroflorestais.pdf>
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171 p.
- ARAGÃO, S. D *et al.* **Soil fertility and carbon stocks of indigenous agroforestry homegardens in the lower Amazon region**. Agroforestry Systems, v. 100, p. 22, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01398-z>.

ARSHAD, M. A. *et al.* **Soil quality indicators**. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.

BARETTA, D. *et al.* **Método de avaliação da fauna edáfica**. In: FERREIRA, P. A. A. *et al.* *Biologia, microbiologia e bioquímica do solo*. 1. ed. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024.

BARTZ, M. L. C. *et al.* **The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina**. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 13, n. 2, p. 118-127, 2014.

BASTOS, T. R. S. *et al.* **Response of soil microbial biomass and enzyme activity in coffee-based agroforestry systems in a high-altitude tropical climate region of Brazil**. *Catena*, Amsterdam, v. 230, p. 107270, 2023. DOI: 10.1016/j.catena.2023.107270.

BINGYANG SHI *et al.* **Conversion of long-term monoculture plantation to agroforestry is beneficial for increasing soil carbon storage in karst yellow soil areas**. *Journal of Environmental Management*, v. 394, p. 127424, 2025.

CAMPOS, Beatriz Hilarino. **Estudo de caso de atributos físicos de solo no bioma cerrado, em diferentes sistemas de uso e manejo**. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32673/3/EstudoCasoAtributos.pdf>

CARVALHO, Paulo César *et al.* **Integrated crop-livestock-forestry systems as a nature-based solution for sustainable agriculture**. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 98, n. 7, p. 2309–2323, 2024. DOI: 10.1007/s10457-024-01057-9. :contentReference[oaicite:0]{index=0}

DIONÍSIO, Jair Alves *et al.* **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo–Núcleo Estadual Paraná; Universidade Federal do Paraná, 2016. 152 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1043646/1/DianaSignorguiapraticobiologiasolo.pdf>>.

DURÁN-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, 2023. DOI: 10.1007/s10457-023-00838-y.

FAO. Food and agriculture organization of the united nations (FAO); International technical panel on soil biodiversity (itps); global soil biodiversity initiative (gsbi); convention on biological diversity (cbd); european commission (ec). **State of knowledge of soil biodiversity: status, challenges and potentialities**. Rome: FAO, 2020. 372 p. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/items/24035f6b-eed4-40a8-a838-b45b866c35c2>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FILHO, L. C. I. O. *et al.* **Organismos do solo: um olhar sobre a fauna edáfica.** *In:* FERREIRA, P. A. A. *et al.* Biologia, microbiologia e bioquímica do solo. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024.

GARDNER, C. M. K. *et al.* **Soil physical constraints to plant growth.** 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993.

GNONLONFON, I. *et al.* **New indicators of vulnerability and resilience of agroforestry systems to climate change in West Africa.** *Agronomy for Sustainable Development*, v. 39, p. 23, 2019. DOI: 10.1007/s13593-019-0566-2.

HANKE, D. *et al.* **C and N stocks and soil organic matter dynamics in succession agroforestry systems in Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 96, n. 2, e20230999, 2024. DOI: 10.1590/0001-3765202420230999.

LIER, Q. de J. *et al.* **A física do solo baseada em processos.** *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 11, 2021.

LOPES, A.; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola.** Lavras: UFLA, 2007.

MACEDO, R. S. *et al.* **Agroforestry can improve soil fertility and aggregate-associated carbon in highland soils in the Brazilian northeast.** *Agroforestry Systems*, v. 98, n. 5, p. 1167-1179, 2024.

MATOS, P. S. *et al.* **Short-term effects of agroforestry systems on soil health in Southeastern Brazil.** *Agroforestry Systems*, v. 96, p. 897–908, 2022.

MUÑOZ-ROJAS, M. *et al.* **Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems.** *Restoration Ecology*, v. 24, p. 43-S52, 2016.

ORTIZ, A. I.; *et al.* **Agroforestry improves soil fauna abundance and composition in the Atlantic Forest of Paraguay.** *Agroforestry Systems*, v. 97, n. 8, p. 1447-1463, 2023.

PADOVAN, Milton Parron. **Agroecologia, agricultura familiar e o desenvolvimento local e regional sustentável.** *In:* OPEN SCIENCE RESEARCH IX. Guarujá, SP: Editora Científica e Digital, 2022. p. 1372-1394. Disponível em:
<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1151155/1/CAP.-LIVRO-2022-PADOVAN-M.-P.-Agroecologia-Agricultura-Familiar-e-o-Desenvolvimento-Regional-Sustentavel.pdf>>.

- PEZARICO, C. R. *et al.* **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais**. Revista de Ciências Agrárias, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.004.
- POHLMANN, V. *et al.* **Impacts of agroforestry systems and intercropping on the growth, production, and seed quality of corn and beans**. Agroforestry Systems, Dordrecht, v. 98, n. 8, p. 2575–2590, 2024. DOI: 10.1007/s10457-024-01075-7.
- RAMOS, A. P. *et al.* **Macrofauna and soil properties in agroforestry system and secondary forest**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 49, e0240091, 2025.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Territorial, 2020.
- SANCHEZ, P. A. **Science in agroforestry**. In: SINCLAIR, F. L. (ed.). Agroforestry: science, policy and practice. Dordrecht: Springer, 1995.
- SILVA, E. E. *et al.* **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. Comunicado Técnico 99. 4 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/627577/1/cot099.pdf>>.
- SILVA, E. E. **Procedimento básico para determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. Comunicado Técnico 98. 8 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/625010/1/cot098.pdf>>.
- SILVA, M. O. *et al.* **Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.
- STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. United States of America: John Wiley & Sons, 1994.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. California: University of California Press, 1979.
- TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- THOMAZINI, A. *et al.* **SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil**. Geoderma Regional, v. 5, p. 15-24, 2015.
- VERMA, A. *et al.* **Biomass and carbon partitioning across different components of agroforestry systems in the arid zones of India**.

Agroforestry Systems, Dordrecht, v. 98, n. 9, p. 2735-2749, 2024. DOI: 10.1007/s10457-024-01076-6.

VICENTE, L. C. *et al.* **Chemical composition of organic carbon in aggregate density fractions under cacao agroforestry systems in South Bahia, Brazil.** Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2023. DOI: 10.1007/s42729-022-01083-5.

WANG, X. K. *et al.* **Agroforestry-driven changes in soil labile organic carbon fractions affect soil bacterial community assembly and carbon cycle functions.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 401, p. 110282, 2026.

XIANG, Y. *et al.* **Grass cover increases soil microbial abundance and diversity and extracellular enzyme activities in orchards: a synthesis across China.** Applied Soil Ecology, v. 182, 2023.

ANEXO A - Médias e desvios-padrão das variáveis no período do inverno

SAF	Umidade do solo g g ⁻¹	Densidade do solo (Ds) — g cm ⁻³	Microporosidade — m ³ m ⁻³	Macroporosidade — m ³ m ⁻³	Argila — %	Areia — %	Silte — %
SAF 1	0.18 ± 0.0159	1.45 ± 0.2152	0.29 ± 0.0404	0.16 ± 0.0419	17.42 ± 3.146	67.23 ± 0.658	15.3 ± 2.690
SAF 2	0.24 ± 0.0420	1.35 ± 0.0591	0.28 ± 0.0665	0.14 ± 0.0287	20.55 ± 2.500	62.51 ± 3.342	16.9 ± 2.934
SAF 3	0.23 ± 0.0282	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	23.67 ± 5.543	60.08 ± 5.895	16.2 ± 2.598
SAF 4	0.24 ± 0.0443	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	24.30 ± 2.887	61.46 ± 4.242	14.2 ± 3.129
SAF 5	0.21 ± 0.0761	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	21.80 ± 3.536	61.21 ± 3.424	16.9 ± 4.710
SAF 6	0.18 ± 0.0082	1.31 ± 0.0545	0.24 ± 0.0597	0.22 ± 0.0512	14.92 ± 1.250	70.26 ± 3.403	14.8 ± 2.531
SAF 7	0.19 ± 0.0330	1.31 ± 0.1225	0.23 ± 0.0245	0.25 ± 0.0443	15.55 ± 3.227	70.46 ± 3.382	13.9 ± 2.958
SAF 8	0.22 ± 0.0429	1.21 ± 0.1228	0.33 ± 0.0742	0.23 ± 0.0574	14.92 ± 3.146	67.52 ± 2.672	17.5 ± 0.788

SAF	Carbono da biomassa microbiana (CBM) — mg C kg ⁻¹ solo	Quociente microbiano (qMic) — %	Respiração Basal do Solo (RBS) — mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹	Quociente metabólico (qCO ₂) — mg C- CO ₂ g ⁻¹ Cmic h ⁻¹
SAF 1	333.07 ± 91.71	2.410 ± 0.467	2.693 ± 0.169	7.253 ± 1.131
SAF 2	433.63 ± 102.67	2.975 ± 1.196	2.265 ± 0.350	5.573 ± 1.038
SAF 3	459.91 ± 98.02	3.653 ± 1.050	2.580 ± 0.366	6.200 ± 1.830
SAF 4	357.36 ± 160.70	3.055 ± 1.376	1.423 ± 0.397	4.785 ± 3.216
SAF 5	534.51 ± 93.95	3.505 ± 0.459	2.248 ± 0.424	4.368 ± 0.525
SAF 6	441.41 ± 126.52	2.245 ± 0.624	2.110 ± 0.437	5.243 ± 2.339
SAF 7	364.67 ± 82.78	2.473 ± 0.695	1.620 ± 0.182	4.140 ± 0.644
SAF 8	462.20 ± 76.53	1.480 ± 0.230	2.730 ± 0.509	5.325 ± 1.810

SAF	Carbono orgânico total (COT) — %	Matéria orgânica (MO) — %	Acidez ativa (pH em H ₂ O)	Acidez potencial	Fósforo (P) — mg dm ⁻³	Sódio (Na) — cmolc dm ⁻³	Potássio (K) — cmolc dm ⁻³
SAF 1	1.36 ± 0.160	2.35 ± 0.274	5.35 ± 0.359	6.35 ± 0.226	18.00 ± 4.379	0.006 ± 0.0008	0.02 ± 0.0065
SAF 2	1.63 ± 0.239	2.82 ± 0.408	5.29 ± 0.152	6.07 ± 0.408	61.90 ± 34.485	0.008 ± 0.0014	0.04 ± 0.0107
SAF 3	1.28 ± 0.195	2.20 ± 0.339	5.91 ± 0.571	6.60 ± 0.200	30.00 ± 17.154	0.01 ± 0.0029	0.03 ± 0.0100
SAF 4	1.22 ± 0.254	2.10 ± 0.439	5.60 ± 0.281	6.41 ± 0.082	10.31 ± 4.005	0.008 ± 0.0014	0.03 ± 0.0090
SAF 5	1.53 ± 0.303	2.65 ± 0.520	4.95 ± 0.156	5.99 ± 0.161	7.533 ± 3.124	0.03 ± 0.0005	0.03 ± 0.0043
SAF 6	2.04 ± 0.259	3.53 ± 0.443	4.85 ± 0.390	6.05 ± 0.414	50.98 ± 44.432	0.006 ± 0.0015	0.04 ± 0.0206
SAF 7	1.57 ± 0.214	2.70 ± 0.368	5.13 ± 0.241	6.27 ± 0.151	92.67 ± 27.548	0.006 ± 0.0010	0.04 ± 0.0371
SAF 8	3.28 ± 0.730	5.66 ± 1.264	5.52 ± 0.188	6.09 ± 0.291	134.76 ± 9.178	0.004 ± 0.0005	0.01 ± 0.0051

SAF	Cálcio (Ca) — cmolc dm ⁻³	Magnésio (Mg) — cmolc dm ⁻³	Alumínio (Al ³⁺) — cmolc dm ⁻³	H+Al - cmolc dm ⁻³	CTC efetiva — cmolc dm ⁻³	CTC a pH 7,0 — cmolc dm ⁻³	Saturação por bases (V%) — %
SAF 1	5.20 ± 0.589	0.27 ± 0.037	0.37 ± 0.161	2.64 ± 0.520	5.87 ± 0.662	8.14 ± 0.893	67.66 ± 4.74
SAF 2	6.02 ± 1.353	0.25 ± 0.068	0.58 ± 0.225	3.68 ± 1.705	6.91 ± 1.194	10.01 ± 0.992	63.66 ± 14.09
SAF 3	5.17 ± 1.555	0.27 ± 0.099	0.75 ± 0.301	2.13 ± 0.415	6.24 ± 1.536	7.62 ± 1.320	70.93 ± 9.62
SAF 4	3.77 ± 0.733	0.17 ± 0.028	0.70 ± 0.290	2.46 ± 0.187	4.68 ± 0.510	6.44 ± 0.720	61.41 ± 5.37
SAF 5	3.65 ± 0.702	0.17 ± 0.027	0.92 ± 0.335	3.64 ± 0.494	4.81 ± 1.050	7.54 ± 1.096	51.41 ± 4.24
SAF 6	3.77 ± 0.919	0.14 ± 0.044	1.03 ± 0.891	3.60 ± 1.343	5.00 ± 0.514	7.57 ± 0.744	52.96 ± 14.14
SAF 7	5.55 ± 1.164	0.24 ± 0.102	0.57 ± 0.458	2.84 ± 0.451	6.42 ± 1.085	8.68 ± 1.073	66.80 ± 7.40
SAF 8	10.85 ± 2.061	0.29 ± 0.092	0.28 ± 0.084	3.39 ± 0.947	11.44 ± 2.149	14.56 ± 2.624	76.61 ± 5.18

ANEXO B - Médias e desvios-padrão das variáveis no período da primavera

SAF	Umidade do solo g g ⁻¹	Densidade do solo (Ds) — g cm ⁻³	Microporosidade — m ³ m ⁻³	Macroporosidade — m ³ m ⁻³	Argila — %	Areia — %	Silte — %
SAF 1	0.10 ± 0.0156	1.46 ± 0.2152	0.29 ± 0.0404	0.16 ± 0.0419	17.42 ± 3.146	67.23 ± 0.658	15.34 ± 2.690
SAF 2	0.12 ± 0.0291	1.35 ± 0.0591	0.28 ± 0.0665	0.14 ± 0.0287	20.55 ± 2.500	62.51 ± 3.342	16.93 ± 2.934
SAF 3	0.12 ± 0.0139	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	23.67 ± 5.543	60.08 ± 5.895	16.23 ± 2.598
SAF 4	0.13 ± 0.0366	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	24.30 ± 2.887	61.46 ± 4.242	14.23 ± 3.129
SAF 5	0.12 ± 0.0086	1.27 ± 0.0532	0.38 ± 0.0377	0.11 ± 0.0258	21.80 ± 3.536	61.21 ± 3.424	16.98 ± 4.710
SAF 6	0.11 ± 0.0121	1.31 ± 0.0545	0.24 ± 0.0597	0.22 ± 0.0512	14.92 ± 1.250	70.26 ± 3.403	14.80 ± 2.531
SAF 7	0.11 ± 0.0351	1.31 ± 0.1225	0.23 ± 0.0245	0.25 ± 0.0443	15.55 ± 3.227	70.46 ± 3.382	13.98 ± 2.958
SAF 8	0.22 ± 0.1936	1.21 ± 0.1228	0.33 ± 0.0742	0.23 ± 0.0574	14.92 ± 3.146	67.52 ± 2.672	17.55 ± 0.788

SAF	Carbono da biomassa microbiana (CBM) — mg C kg ⁻¹ solo	Quociente microbiano (qMic) — %	Respiração Basal do Solo (RBS) — mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹	Quociente metabólico (qCO ₂) — mg C-CO ₂ g ⁻¹ Cmic h ⁻¹
SAF 1	327.74 ± 100.1978	1.30 ± 0.4147	2.37 ± 0.6519	7.30 ± 2.3305
SAF 2	326.99 ± 81.7195	1.10 ± 0.1696	2.34 ± 0.4359	6.68 ± 2.0253
SAF 3	586.07 ± 62.4572	2.23 ± 0.3638	1.79 ± 0.4191	3.14 ± 0.7946
SAF 4	539.87 ± 72.8144	1.91 ± 0.2227	2.14 ± 0.5345	4.03 ± 0.9578
SAF 5	526.84 ± 81.8232	2.03 ± 0.2585	4.10 ± 0.4211	3.07 ± 1.4820
SAF 6	565,22 ± 57,6479	1.93 ± 0.2415	3.55 ± 0.4984	2.56 ± 1.1742
SAF 7	241,45 ± 57,8243	2.02 ± 0.2911	6.98 ± 0.3869	2.46 ± 1.3477
SAF 8	444.26 ± 113.8862	1.88 ± 0.4938	2.05 ± 0.3524	5.09 ± 0.9053

SAF	Carbono orgânico total (COT) — %	Matéria orgânica (MO) — %	Acidez ativa (pH em H ₂ O)	Acidez potencial	Fósforo (P) — mg dm ⁻³	Sódio (Na) — cmolc dm ⁻³	Potássio (K) — cmolc dm ⁻³
SAF 1	2.56 ± 0.3062	4.41 ± 0.5278	4.92 ± 0.5739	6.14 ± 0.2366	14.48 ± 2.1864	0.04 ± 0.0006	0.02 ± 0.0047
SAF 2	2.95 ± 0.3459	5.09 ± 0.5964	5.07 ± 0.2633	6.18 ± 0.2732	175.10 ± 30.36	0.04 ± 0.0004	0.03 ± 0.0057
SAF 3	2.65 ± 0.1742	4.57 ± 0.3004	5.91 ± 0.2782	6.48 ± 0.1203	103.57 ± 69.5931	0.05 ± 0.0011	0.03 ± 0.0070
SAF 4	2.85 ± 0.3519	4.92 ± 0.6066	5.95 ± 0.1321	6.69 ± 0.0343	20.08 ± 10.6353	0.05 ± 0.0002	0.02 ± 0.0047
SAF 5	5.29 ± 0.3064	5.12 ± 0.5282	5.91 ± 0.4082	5.91 ± 0.2995	20.96 ± 1.2315	0.03 ± 0.0004	0.03 ± 0.0053
SAF 6	4.42 ± 0.1556	6.13 ± 0.2682	6.50 ± 0.4204	6.50 ± 0.2467	32.92 ± 2.5338	0.02 ± 0.0002	0.02 ± 0.0003
SAF 7	4.45 ± 0.5510	6.18 ± 0.9499	6.61 ± 0.1545	6.61 ± 0.1653	82.84 ± 40.2266	0.03 ± 0.0007	0.03 ± 0.0101
SAF 8	2.38 ± 0.0591	4.10 ± 0.1018	5.12 ± 0.3630	6.04 ± 0.1870	90.82 ± 22.4188	0.04 ± 0.0009	0.03 ± 0.0054

SAF	Cálcio (Ca) — cmolc dm ⁻³	Magnésio (Mg) — cmolc dm ⁻³	Alumínio (Al ³⁺) — cmolc dm ⁻³	H+Al - cmolc dm ⁻³	CTC efetiva— cmolc dm ⁻³	CTC a pH 7,0 — cmolc dm ⁻³	Saturação por bases (V%) — %
SAF 1	3.17 ± 0.9747	0.16 ± 0.0355	0.75 ± 0.3999	3.22 ± 0.6459	4.15 ± 0.7031	6.61 ± 1.4402	50.94 ± 6.4825
SAF 2	5.42 ± 0.3544	0.27 ± 0.0285	0.25 ± 0.0628	3.12 ± 0.7624	6.00 ± 0.4452	8.88 ± 0.5587	65.09 ± 6.6918
SAF 3	4.59 ± 0.0894	0.20 ± 0.0016	0.49 ± 0.0709	2.35 ± 0.2478	5.36 ± 0.0582	7.22 ± 0.2097	67.51 ± 2.6338
SAF 4	3.31 ± 0.5650	0.19 ± 0.0253	0.49 ± 0.1986	1.91 ± 0.594	4.07 ± 0.4016	5.49 ± 0.5762	64.87 ± 3.8644
SAF 5	2.97 ± 0.5133	0.18 ± 0.0268	1.26 ± 0.7139	4.03 ± 1.0650	4.49 ± 0.4224	7.26 ± 0.6688	45.04 ± 10.1688
SAF 6	2.79 ± 0.1789	0.11 ± 0.0064	0.25 ± 0.1379	2.40 ± 0.6208	3.21 ± 0.2368	5.36 ± 0.5821	55.77 ± 6.9666
SAF 7	5.00 ± 1.7441	0.16 ± 0.0795	0.26 ± 0.0464	2.09 ± 0.3210	5.50 ± 1.8186	7.33 ± 1.805	70.17 ± 8.5794
SAF 8	4.06 ± 2.288	0.16 ± 0.0720	0.70 ± 0.7414	3.52 ± 0.6425	4.98 ± 1.9605	7.80 ± 2.0415	53.42 ± 15.7913