



KÁTIA AUGUSTA SILVA VAZ

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE DA MESOFAUNA E
MACROFAUNA DO SOLO EM CAFEZAIS E EM ÁREAS DE
FLORESTAS ADJACENTES NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

**LAVRAS - MG
2024**

KÁTIA AUGUSTA SILVA VAZ

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE DA MESOFAUNA E MACROFAUNA DO SOLO
EM CAFEZAIS E EM ÁREAS DE FLORESTAS ADJACENTES NO BIOMA MATA
ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo para obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Orientadora

Profa. Dra. Vanesca Korasaki

Coorientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Vaz, Kátia Augusta Silva.

Estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo em cafezais e em áreas de florestas adjacentes no Bioma Mata Atlântica / Kátia Augusta Silva Vaz. - 2024.

91 p. : il.

Orientador(a): Fatima Maria de Souza Moreira.

Coorientador(a): Vanesca Korasaki.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Artrópodes. 2. Biodiversidade. 3. Coffea arabica. I. Moreira, Fatima Maria de Souza. II. Korasaki, Vanesca. III. Título.

KÁTIA AUGUSTA SILVA VAZ

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE DA MESOFAUNA E MACROFAUNA DO SOLO
EM CAFEZAIS E EM ÁREAS DE FLORESTAS ADJACENTES NO BIOMA MATA
ATLÂNTICA**


**COMMUNITY STRUCTURE OF SOIL MESOFAUNA AND MACROFAUNA IN
COFFEE PLANTATIONS AND ADJACENT FOREST AREAS IN THE ATLANTIC
FOREST BIOME**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de agosto de 2024

Dr. Cassio Alencar Nunes - Lancaster University

Dr. Teotônio Soares de Carvalho – Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente
 **FATIMA MARIA DE SOUZA MOREIRA**
Data: 12/11/2024 16:03:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Orientadora

Profa. Dra. Vanesca Korasaki

Coorientadora

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela graça em minha vida.

Aos meus pais, Heitor e Helena, por todo apoio e carinho, e aos meus irmãos, Fabiano e Ana Renata, pelo incentivo, apoio e amizade.

À minha orientadora, Dra. Fatima Maria de Souza Moreira, por todas as contribuições para esse trabalho, pelo aprendizado, confiança, suporte, incentivo e pelos bons conselhos.

À minha coorientadora, Dra. Vanesca Korasaki, pelo aprendizado, suporte e todas as contribuições nesse projeto e pelos momentos compartilhados nas coletas em campo.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo pela estrutura e suporte para a realização desse projeto.

Às instituições financiadoras, Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

Ao João Castro, aluno de iniciação científica, e ao Victor Manuel por ter contribuído com a triagem e identificação nesse projeto e pela boa companhia durante as longas horas de laboratório. Ao Luiz Cortez pela ajuda e boa companhia nas coletas.

A Jacqueline Savana, Moisés Feitosa e a Ana Lucia Villa Lobos pela amizade, companhia nas trilhas, cafezinhos e almoços, por deixar esses dois anos de mestrado mais agradáveis.

Ao professor Dr. Teotônio Carvalho pelo suporte na estatística e por todas as contribuições neste projeto. Ao pós-doutorando Eder Batista pelas contribuições na estatística deste projeto.

Ao Dr. Antônio Brescovit, pelas contribuições na identificação das aranhas.

Aos pós-doutorandos Jessé Valentim e Márcia Rufini pela ajuda nas coletas e suporte técnico.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse projeto.

Obrigada!

RESUMO

O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional de café arábica. Grande parte dessa produção ocorre em sistemas de monocultura, o que contribui para um ambiente com restrição de diversidade de recursos alimentares e de micro habitats para os organismos benéficos do solo. As comunidades da mesofauna e macrofauna habitam tanto o solo como a serapilheira, e, por meio de suas atividades, têm o potencial de alterar a estrutura do solo, realizando de forma direta ou indireta funções ecológicas e serviços ecossistêmicos. Alguns desses serviços, como a ciclagem de nutrientes, possuem uma íntima relação com a fertilidade do solo e consequentemente com a produtividade das culturas estabelecidas no sistema de cultivo. Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a estrutura da comunidade de mesofauna e macrofauna em áreas de café de maior e menor produtividade, utilizando áreas de florestas adjacentes como sistema referência. Este estudo foi conduzido no município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil. A amostragem foi realizada por meio de armadilhas de queda, tipo pitfall, iscadas com fezes humanas. A mesofauna e macrofauna amostrada foi classificada em níveis taxonômicos com classe e ordem. Coleoptera foi identificado até o nível de família e Araneae foi identificada em gêneros e morfoespécies. Modelos lineares generalizados (GLMs) foram estimados para avaliar o efeito da mudança no uso da terra sobre a diversidade das comunidades edáficas. Uma análise de redundância baseada em distância (dbRDA), seguida de seleção de variáveis, foi utilizada para avaliar mudanças na composição das comunidades entre os usos da terra. Análise de partição de variância (APV) foi usada para avaliar a contribuição das variáveis físico-químicas do solo e do uso da terra sobre a composição da mesofauna e macrofauna. Houve uma redução na abundância, riqueza e nos números de Hill 1 e 2 das comunidades de Coleoptera e Araneae com a conversão de floresta para cafezais. Entretanto, para a mesofauna e macrofauna geral do solo, foram observadas drásticas reduções na abundância da maioria dos táxons. A análise APV revelou uma forte influência do uso da terra sobre a estrutura de Coleoptera e da mesofauna e macrofauna. Contudo, para Araneae, a maior contribuição observada foi dos fatores combinados entre o uso da terra e variáveis ambientais. A análise dbRDA mostrou um claro padrão de separação entre a macrofauna amostrada nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes. A partir desse estudo, foi possível verificar que a macrofauna do solo teve uma composição distinta nos cafés de maior e menor produtividade e na floresta adjacente aos cafezais inseridos no bioma Mata Atlântica. Futuros estudos sobre as diferentes práticas de manejo nos cafezais serão valiosos, visto que os cafezais impactam a macrofauna e mesofauna do solo, e esta foi responsiva às diferentes produtividades dos cafezais, podendo ser um importante indicador de alterações do solo que possam estar influenciando na produtividade destes cafezais.

Palavras-chave: Artrópodes. Biodiversidade. *Coffea arabica*. Monocultivo.

ABSTRACT

The state of Minas Gerais is the largest national producer of Arabica coffee. Much of this production occurs in monoculture systems, which contributes to an environment with restricted diversity of food resources and microhabitats for beneficial soil organisms. The mesofauna and macrofauna communities inhabit both the soil and the litter, and, through their activities, have the potential to alter the soil structure, directly or indirectly performing ecological functions and ecosystem services. Some of these services, such as nutrient cycling, are closely related to soil fertility and, consequently, to the productivity of crops established in the cultivation system. Given the above, the general objective of this study was to evaluate the structure of the mesofauna and macrofauna community in areas of higher and lower productivity of coffee, using adjacent forest areas as a reference system. This study was conducted in the municipality of Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brazil. Sampling was performed using pitfall traps baited with human feces. The sampled mesofauna and macrofauna were classified into taxonomic levels with class and order. Coleoptera were identified to the family level and Araneae were identified to the genera and morphospecies. Generalized linear models (GLMs) were estimated to evaluate the effect of land use change on the diversity of soil communities. A distance-based redundancy analysis (dbRDA), followed by variable selection, was used to evaluate changes in community composition between land uses. Variance partitioning analysis (VPA) was used to evaluate the contribution of soil physicochemical variables and land use on the composition of mesofauna and macrofauna. There was a reduction in the abundance, richness and Hill numbers 1 and 2 of Coleoptera and Araneae communities with the conversion of forest to coffee plantations. However, for the general soil mesofauna and macrofauna, drastic reductions in the abundance of most taxa were observed. The APV analysis revealed a strong influence of land use on the structure of Coleoptera and the mesofauna and macrofauna. However, for Araneae, the greatest contribution observed was from the combined factors between land use and environmental variables. The dbRDA analysis showed a clear pattern of separation between the macrofauna sampled in the coffee plantations with higher and lower productivity and in the adjacent forests. From this study, it was possible to verify that the soil macrofauna had a distinct composition in the coffee plantations with higher and lower productivity and in the forest adjacent to the coffee plantations inserted in the Atlantic Forest biome. Future studies on the different management practices in the coffee plantations will be valuable, since the coffee plantations impact the soil macrofauna and mesofauna, and the latter was responsive to the different productivities of the coffee plantations, and can be an important indicator of soil changes that may be influencing the productivity of these coffee plantations.

Keywords: Arthropods. Biodiversity. *Coffea arabica*. Monoculture.

INDICADORES DE IMPACTOS

A macrofauna e a mesofauna do solo participam de processos importantes para a sustentabilidade dos (agro)ecossistemas (2 - Fome Zero e agricultura sustentável, 5. Meio ambiente). Neste trabalho avaliou-se a abundância e diversidade (nível taxonômico de ordem, família ou gênero, dependendo do grupo) da mesofauna e da macrofauna em cafezais e florestas adjacentes no Município de Santo Antônio do Amparo (15 - Vida terrestre), situado no Domínio Mata Atlântica em Minas Gerais, que é o estado maior produtor de café arábica do Brasil. Avaliou-se também a relação da macrofauna e mesofauna com variáveis físicas e químicas do solo. Verificou-se que a composição das comunidades de macro e mesofauna do solo são distinta entre talhões de maior e menor produtividade e, também, na floresta adjacente aos cafezais. Além disso, a abundância de indivíduos foi muito maior nas florestas adjacentes (28.864) do que nos talhões de café de maior (3924) e menor produtividade (3858) (15 - Vida Terrestre). A macrofauna do solo teve relação negativa com a densidade do solo e positiva com a matéria orgânica do solo, sugerindo que a compactação devido à mecanização deve ser minimizada e a matéria orgânica incrementada de modo a estimular a macrofauna do solo e consequentemente os processos realizados por estes organismos (12 - Agricultura sustentável e Produção responsável). Estes dados mostram que a macrofauna e mesofauna são importantes indicadores de mudanças de uso do solo, não só entre florestas e cafezais mas também entre cafezais com diferentes produtividades (7. Tecnologia da Produção). Mostramos assim que os fragmentos florestais adjacentes estão funcionando como um reservatório de biodiversidade, o que pode ser convertido em selos de qualidade, contribuindo para maior valor agregado no produto final que é o café (12 - Produção responsável). Esta pesquisa foi realizada em talhões das fazendas Samambaia e Lagoa, onde foram realizadas reuniões e apresentados relatórios técnicos para a informação aos responsáveis das fazendas sobre os objetivos e desenvolvimento da pesquisa, assim como para discussão dos resultados obtidos (Extensão). O material coletado neste trabalho tem sido usado como demonstração em visitas de estudantes dos ensinos fundamental e médio aos laboratórios da UFLA, assim como para discentes de graduação e pós-graduação da UFLA (4 - Educação de qualidade). O artigo oriundo dessa dissertação será publicado em revista que tenha fator de impacto.

IMPACT INDICATORS

Soil macrofauna and mesofauna participate in important processes for the sustainability of (agro)ecosystems (2- Zero Hunger and sustainable agriculture, 5. Environment). This study evaluated the abundance and diversity (at the level of Order, Family or genus depending on the group) of mesofauna and macrofauna in coffee plantations and adjacent forests in the municipality of Santo Antônio do Amparo (15 - Terrestrial Life), located in the Atlantic Forest Domain in Minas Gerais, which is the largest producer State of Arabica coffee in Brazil. The relationship between macro and mesofauna with physical and chemical variables of the soil was also evaluated. It was found that the composition of soil macro and mesofauna communities is distinct between plots of higher and lower productivity and also in the forest adjacent to the coffee plantations. Furthermore, the abundance of individuals was much higher in the adjacent forests (28,864) than in the coffee plots of higher (3924) and lower productivity (3858) (15 - Terrestrial Life). Soil macrofauna had a negative relationship with soil density and a positive relationship with soil organic matter, suggesting that compaction due to mechanization should be minimized and organic matter increased in order to stimulate soil macrofauna and consequently the processes carried out by these organisms (Sustainable Agriculture and Responsible Production). These data show that macro and mesofauna are important indicators of changes in land use, not only between forests and coffee plantations but also between coffee plantations with different productivity levels (7. Production Technology). We thus show that adjacent forest fragments are functioning as a reservoir of biodiversity that can be converted into quality seals, contributing to greater added value in the final product, which is coffee (12 - Responsible Production). This research was carried out in plots of the Samambaia and Lagoa farms, where meetings were held and technical reports were presented to inform those responsible by farms, about the objectives and development of the research, as well as to discuss the results obtained (Extension). The material collected in this work has been used as a demonstration in visits by elementary and high school students to UFLA laboratories, as well as for undergraduate and graduate students at UFLA (4 - Quality Education). The article resulting from this dissertation will be published in a journal with impact factor.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| 2 HIPÓTESES | 13 |
| 3 OBJETIVOS | 14 |
| 3.1.1 Objetivo geral..... | 14 |
| 3.1.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 15 |
| 4.1 Cultivo do café no Brasil | 15 |
| 4.2 Mata Atlântica | 16 |
| 4.3 A produtividade do café..... | 18 |
| 4.4 Macrofauna do solo | 19 |
| 4.4.1 Os engenheiros do ecossistema | 21 |
| 4.4.2 Os grupos tróficos da mesofauna e macrofauna no solo..... | 22 |
| 4.5 Mesofauna do solo | 24 |
| 4.6 Conversão do uso da terra e a mesofauna e macrofauna | 26 |
| 4.7 Bioindicadores da qualidade do solo..... | 27 |
| 4.8 Mesofauna e macrofauna em cafezais na Mata Atlântica | 28 |
| 5 REFERÊNCIAS | 31 |
| SEGUNDA PARTE ARTIGO | 39 |
| 1 INTRODUÇÃO | 41 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 44 |
| 2.1 Área de estudo e delineamento amostral..... | 44 |
| 2.2 Coleta da mesofauna e macrofauna | 47 |
| 2.3 Triagem e identificação da mesofauna e macrofauna..... | 49 |
| 2.4 Variáveis físicas e químicas do solo | 50 |
| 2.5 Análises estatísticas | 41 |
| 3 RESULTADOS | 53 |
| 3.1 Análise de partição de variância (APV) da mesofauna e macrofauna | 53 |
| 3.2 Estrutura da mesofauna e macrofauna nos cafezais e florestas..... | 54 |
| 3.3 Estrutura das famílias de Coleoptera nos cafezais e florestas..... | 57 |
| 3.4 Estrutura dos gêneros de Araneae nos cafezais e florestas..... | 59 |
| 3.5 Espécies indicadoras da mesofauna e macrofauna..... | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 4 DISCUSSÃO | 63 |
| 4.1 Macrofauna nos cafezais e florestas adjacentes..... | 63 |
| 4.2 Famílias de Coleoptera em cafezais e florestas adjacentes | 68 |
| 4.3 Gêneros de Araneae em cafezais e florestas adjacentes..... | 70 |
| 4.4 Índice de espécies indicadoras – táxons da macrofauna | 71 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 73 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| 7 MATERIAL SUPLEMENTAR..... | 83 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é conhecido mundialmente como o maior produtor e exportador de café arábica, com uma área plantada de 2,26 milhões de hectares, resultando em uma produção total de café no Brasil de 50.920 mil sacas de café em 2023 (CONAB, 2023). Dentre os estados brasileiros, Minas Gerais se destaca como líder em área plantada (73% de toda a área cultivada) e maior produtor nacional de café arábica (CONAB, 2023). O café foi cultivado inicialmente em escala comercial nas regiões litorâneas do Brasil, inseridas no Bioma Mata Atlântica, no início do século XIX. Dessa forma, a relação entre o cultivo do café e o desmatamento do bioma Mata Atlântica é uma relação que perdura há séculos (Velmourougane, Bhat, 2017). Inicialmente era uma prática comum, denominada “abrir nova área”, porém trouxe perdas e consequências irreversíveis para a biodiversidade do bioma Mata Atlântica, atualmente considerado *hotspot* da biodiversidade mundial (Myers *et al.*, 2000; Mittermeier *et al.*, 2011). Os ecossistemas com maiores índices de biodiversidade estão associados a ambientes com alta complexidade, resultando em maior estabilidade desses ecossistemas. A conversão do uso da terra, que passa de um ambiente heterogêneo e de alta complexidade para um ambiente de monocultura de baixa complexidade, causa alterações na comunidade da mesofauna e macrofauna do solo (Vasconcellos *et al.*, 2013; Galindo *et al.*, 2022).

A comunidade da mesofauna e macrofauna do solo constitui a biologia do solo e contribui para a sustentabilidade e saúde do solo. Por meio de uma íntima relação com o solo, atua de forma direta ou indireta em importantes funções e processos do solo, como fragmentação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, aeração e retenção de umidade do solo e controle biológico (Menta e Remelli, 2020). A mesofauna e macrofauna edáfica é composta por diferentes grupos taxonômicos como besouros, formigas, diplopoda, aranhas, entre outros (Lavelle *et al.*, 1997). Esses organismos habitam tanto na serrapilheira quanto nos horizontes do solo e utilizam como recurso alimentar, nidificação e habitat. A diversidade da fauna edáfica permite que diferentes grupos acessem diferentes recursos do ecossistema, o que pode ser observado por meio das relações tróficas dos predadores, detritívoros, herbívoros, frugívoros e onívoros (Brown *et al.*, 2001; Wong *et al.*, 2019). Essas interações contribuem para o equilíbrio das populações e recursos presentes no ecossistema em que estão inseridos,

sendo um serviço ecossistêmico de regulação (Velasquez; Lavelle, 2019). Nos perfis do solo encontramos ainda, os engenheiros do ecossistema, como cupins, besouros, formigas e minhocas (Lavelle *et al.*, 1997), estando relacionados com a parte física do solo. Recebem esse nome devido à sua capacidade de alterar o meio em que estão inseridos, visto por meio de montículos de solo, túneis e galerias, revolvimento de solo, agregação de partículas e a formação de coprólitos (Lavelle *et al.*, 1997). Esses invertebrados são sensíveis às mudanças do solo, podendo ser usados como bioindicadores da qualidade ambiental (Baretta *et al.*, 2011; Da Silva *et al.*, 2020). Dessa forma, podemos observar a saúde do ecossistema por meio da riqueza e abundância da mesofauna e macrofauna do solo (Lugo, Ibanez, Lavelle, 2024).

A Mata Atlântica mantém uma comunidade rica, diversa e abundante da mesofauna e macrofauna, que sofre alterações quando substituídas por monocultura convencional de café (Marques *et al.*, 2014; Guimarães *et al.*, 2016; De Almeida *et al.*, 2020). Os poucos trabalhos que avaliaram a fauna do solo nos monocultivos de cafezais de Minas Gerais, não estudaram a estrutura dessa comunidade em classificações taxonômicas menores como família ou gênero, além de não investigarem a influência das variações de produtividade na comunidade da mesofauna e macrofauna do solo. Nosso trabalho comparou a composição da comunidade da mesofauna e macrofauna em cafezais que apresentam maiores e menores produtividades (sacas/hectare), sendo estes, inseridos no bioma Mata Atlântica. Compreender a relação entre os grupos da mesofauna e macrofauna e a produtividade do café é relevante devido à necessidade de se adotar manejos de produção sustentáveis para o café produzido em Minas Gerais, especialmente frente à crescente consciência ambiental do mercado consumidor. Esse entendimento pode auxiliar a implementar técnicas de manejo do solo que otimizem a diversidade da mesofauna e macrofauna do solo, assim como as funções ecológicas e serviços ecossistêmicos que esses organismos edáficos realizam.

2 HIPÓTESES

1 - A riqueza, abundância, diversidade e composição das comunidades de mesofauna e macrofauna do solo apresentam diferença entre os talhões de café de menor e maior produtividade, bem como entre os cafés e as áreas florestais adjacentes.

2 - As variáveis químicas e físicas do solo influenciam a estrutura da comunidade da mesofauna e da macrofauna.

3 - Existem grupos de mesofauna e macrofauna que podem ser bioindicadores de sistemas cafeeiros de menor e maior produtividade, bem como de áreas florestais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo em cafezais com menor e maior produtividade e em florestas adjacentes a esses cafezais inseridos no bioma Mata Atlântica.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar se a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo difere entre talhões de café de menor e maior produtividade, assim como entre áreas florestais adjacentes.
- Avaliar se as variáveis químicas e físicas do solo influenciam a estrutura da comunidade de mesofauna e macrofauna do solo.
- Identificar grupos de mesofauna e macrofauna do solo como bioindicadores de sistemas cafeeiros de menor e maior produtividade, assim como de áreas florestais.

4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

4.1 Cultivo do café no Brasil

O café é uma bebida presente no cotidiano do brasileiro, o que pode ser evidenciado, até mesmo no nome da nossa primeira refeição diária, conhecida como “café da manhã”. O Brasil se destaca como o principal produtor e exportador de café arábica do mundo, com 41,65% da produção mundial (safra 2021/2022) (CONAB, 2023).

O café é sujeito à bienalidade, ou seja, apresenta ciclo bienal de produção, que é a alternância entre os anos de alta e baixa produtividade. Ocorre devido aos grãos de café requererem energia para sua formação, em forma de fotoassimilados e nutrientes minerais, favorecendo uma alta frutificação em um ano. Porém, para o ano seguinte, é necessário energia e nutrientes para o crescimento vegetativo dos ramos, fazendo com que ocorra uma limitação na formação dos grãos no ano seguinte. Como consequência, é comum ocorrer a diminuição da produção no ano subsequente a um ano de alta produtividade, ocorrendo essa variação de produtividade entre os anos (Bernardes; Khatounian, 2013). Em 2022, Minas Gerais se manteve como maior produtor de café do país, com uma produtividade média do café arábica de 22,5 sacas/hectare (CONAB, 2023).

Pertencente à família Rubiaceae, o café teve origem na Etiópia, localizada na África tropical. Foi introduzido no Brasil por colonizadores europeus em 1727, e se adaptou bem aos solos brasileiros (CECAFÉ, 2023). O café é uma planta perene, podendo permanecer produtiva por 30 anos. Quando recebe regularmente o manejo recomendado, como podas e fertilização, a produção pode se estender por até 50 anos. As espécies mais comercializadas no Brasil são *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta) (Velmourougane, Bhat, 2017). A cafeicultura desempenhou um papel histórico na economia do nosso país, especialmente entre 1800 e 1929, conhecido como o auge do “Ciclo do Café” no Brasil. Juntamente com outros ciclos econômicos brasileiros, o café contribuiu para a conversão do bioma da Mata Atlântica em áreas agrícolas, mesmo em regiões críticas para a preservação ambiental (Velmourougane, Bhat, 2017). Dessa forma, podemos observar uma redução da biodiversidade de organismos pertencentes à fauna do solo nas áreas agrícolas, que são dependentes da heterogeneidade da cobertura vegetal natural, que é utilizada como abrigo e recurso alimentar (Da Silva *et al.*, 2020).

No Brasil, o manejo predominante é realizado a pleno sol, enquanto na maioria dos outros países predomina o café cultivado à sombra (Jaramillo-Botero *et al.*, 2006; Bernardes; Khatounian, 2013). Por exemplo, na Índia, que também é um dos principais países produtores de café, predomina o cultivo de café arábica em áreas sombreadas (Velmourougane, Bhat, 2017). Uma das desvantagens do manejo a pleno sol para a mesofauna e macrofauna invertebradas do solo é a ausência de microclimas, tornando esses ambientes hostis à sua sobrevivência (Ayuke *et al.*, 2009). A temperatura é um fator determinante para a ativação das atividades metabólicas da fauna de solo, juntamente com a umidade que influencia positivamente (Lavelle; Spain, 2002), justificando o período chuvoso ser o de maior atividade e maior distribuição da fauna no perfil do solo (Baretta *et al.*, 2011).

4.2 Mata Atlântica

A Floresta Tropical Atlântica originalmente se estendia pela maior parte do litoral brasileiro (1.300.000 km²), sendo encontrada em 17 estados (SOS Mata Atlântica; INPE, 2020), adentrando pelo interior do país em extensão que variava de 50 km a 500 km (Ab' Sáber, 2003). Na parte oeste, o bioma Mata Atlântica faz fronteira com os biomas Caatinga, Cerrado e Pampa (IBGE, 2023) e a Leste com o Oceano Atlântico. É um bioma bastante heterogêneo, composto por Florestas Ombrófilas e Florestas Estacionais, manguezais, restingas, campos de altitudes, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (Brasil, 2022).

A floresta tropical Mata Atlântica deixou Charles Darwin extasiado em sua passagem pelo Brasil (Martins, 2000) e não foi por acaso, pois o naturalista britânico estava diante do bioma com os maiores níveis de biodiversidade da flora e fauna. A Floresta Atlântica abriga a maior diversidade de espécies arbóreas por área do Brasil, com cerca de 15.700 espécies de plantas, sendo que 800 dessas espécies são endêmicas da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica, 2023). Há cerca de 2.208 espécies de vertebrados registradas pela ciência, 298 espécies de mamíferos, 992 espécies de aves, 200 espécies de répteis, 370 espécies de anfíbios e 350 espécies de peixes (SOS Mata Atlântica, 2023). Além desses, há também os invertebrados, que são um grupo ainda pouco documentado (Collen *et al.*, 2009; Guerra *et al.*, 2020), o que pode ser compreendido pela sua enorme diversidade, tamanho pequeno e hábitos de vida. Devido ao desmatamento, é estimado que muitas espécies endêmicas, ou seja, que não foram encontradas em nenhuma outra parte do mundo em ambiente natural devido a condições únicas do ecossistema, podem ter sido extintas sem que fossem conhecidas (Mittermeier *et al.*, 2011).

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados de extinção do mundo (Myers *et al.*, 2000; Mittermeier *et al.*, 2011). Foi o primeiro bioma brasileiro a sofrer com o desmatamento e degradação, o que pode ser atribuído, entre outros, ao seu posicionamento geográfico situado em áreas costeiras (Oliveira-Filho; Fontes, 2006). A faixa litorânea brasileira é ocupada por 58% da população total brasileira (IBGE, 2019). Algumas florestas remanescentes desse bioma estão localizadas em áreas íngremes (Ribeiro *et al.*, 2011) de difícil acesso à população humana, passando a ser desinteressantes à sua ocupação (Da Silva *et al.*, 2007). Apesar da importância desse bioma, restam 11,26% da vegetação original de Mata Atlântica (Ribeiro *et al.*, 2009), sendo a maior parte desta, distribuída em fragmentos com menos de 50 ha (Ribeiro *et al.*, 2011). A fragmentação de habitat é a principal causa da perda de biodiversidade (Haddad *et al.*, 2015).

As principais áreas produtoras de café do Brasil estão concentradas no bioma Mata Atlântica. Quando essas lavouras possuem em seu entorno, fragmentos de Mata Atlântica, promovem um aumento na produtividade do café de 32% por receberem a visitação de polinizadores nas suas flores quando comparados aos cafezais sem fragmentos florestais adjacentes (Latini *et al.*, 2020). Os fragmentos de Mata Atlântica contribuem, ainda, para a manutenção e conservação da fauna edáfica, assim como os serviços ecossistêmicos exercidos por esses invertebrados do solo (Da Silva *et al.*, 2020). As principais causas de degradação da Mata Atlântica podem ser atribuídas à expansão agrícola, urbanização e exploração ilegal de recursos naturais (SOS Mata Atlântica, 2023).

A expansão agrícola nesse bioma tem sido motivada por *commodities* agrícolas como café (Lopes *et al.*, 2014), soja e cana-de-açúcar. Em 2022, o estado de Minas Gerais destinou 1.334,2 mil hectares para a cafeicultura, e houve um aumento de 2,8% de área destinada à cafeicultura, em comparação com a safra de 2021 (CONAB, 2022). Tais práticas têm garantido ao Brasil destaque nos mercados financeiros agrícolas, porém têm como consequências desmatamento, intensificação do uso de fertilizantes químicos, diminuição da permeabilidade do solo, perda de biodiversidade do solo e contaminação de recursos hídricos (Foley *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2011), causando um passivo ambiental para o Brasil.

A Mata Atlântica foi reconhecida como Patrimônio Nacional pela Constituição da República do Brasil em 1988 (art. 225, § 4º), declarada como Reserva da Biosfera pela UNESCO (Oliveira-Filho; Fontes, 2006). Ficou estabelecido que o uso da vegetação nativa de Mata Atlântica deve ser com práticas conservacionistas e sustentáveis (Constituição Brasil, 2006), e o descumprimento deste artigo fica sujeito a sanções administrativas e penais para

crimes ambientais (Lei Federal nº 9605, 1998). Atualmente, todos os fragmentos remanescentes de Mata Atlântica são protegidos pela Lei da Mata Atlântica (Brasil, 2022), porém a fiscalização é negligente até mesmo em Unidades de Conservação (Ribeiro *et al.*, 2011) que são, na maioria das vezes, circundadas por monoculturas (SOS Mata Atlântica, 2023).

4.3 A produtividade do café

No cultivo convencional do café, são comumente adicionados nutrientes minerais como nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, magnésio, enxofre, além de micronutrientes como boro, cobre, ferro, manganês, zinco e molibdênio. São usados como referências, os valores resultantes de análise química do solo, para fazer a aplicação de fertilizantes químicos nas plantações, para que se obtenha a produtividade das culturas. A Lei do Mínimo, criada por Liebig em 1843, diz que a produtividade de uma cultura é limitada pelo nutriente que está em menor disponibilidade no solo, mesmo que todos os outros elementos estejam disponíveis na quantidade adequada. O uso dos fertilizantes químicos supre as necessidades nutricionais das plantas, contribuindo para o aumento e manutenção da fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produtividade das culturas. São adotadas, ainda, a calagem do solo antes do plantio, que consiste na correção da acidez do solo com calcário (CaCO_3), sendo o recomendado é que o pH esteja entre 5,2 a 6,3, para assegurar a absorção dos nutrientes do solo para a planta do café. Mudanças nas propriedades químicas do solo são capazes de influenciar a produtividade do café, porém os fatores climáticos como precipitação, estresses hídricos e temperatura também exercem grande influência na produção cafeeira.

A produtividade do café é fortemente influenciada por mudanças climáticas, devido às exigências climáticas distintas durante as fases de floração, “pegamento” dos frutos e o desenvolvimento dos frutos, que consiste nos estágios de desenvolvimento do café (Dias; Martins; Martins, 2024). Em 2022, apesar de ser um ano considerado de bienalidade positiva, o estado de Minas Gerais foi severamente afetado por extremos climáticos como prolongamento de períodos de chuva entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2022, e longos períodos de estiagem, frentes frias e incidência de geadas ocorridas entre junho e setembro de 2021 (CONAB, 2022). Em 2022, a produtividade média do estado foi de 22,5 scs/ha, sendo apenas 2,7% superior à da safra 2021, ano de bienalidade negativa, e 30% inferior ao registrado na safra de 2020, ano de bienalidade positiva como 2022. Em 2020, a produtividade do café arábica no estado foi de 32,2 scs/ha (CONAB, 2022).

Assim como a parte química do solo é manejada de forma a contribuir para a fertilidade do solo, a fauna do solo pode ser manejada como um recurso para contribuir para a saúde e fertilidade do solo (Lavelle *et al.*, 1996). Os solos tropicais tendem a ser oligotróficos, ou seja, pobres em nutrientes, por terem se desenvolvido em áreas geologicamente estáveis e serem altamente intemperizados. Nesse sentido, fica evidente a importância da biomassa viva para a manutenção da maior parte de nutrientes por meio de seus ciclos, que proporciona um ambiente de rápida assimilação e regeneração desses nutrientes (Ricklefs, 2013). Após a conversão do solo para um agrossistema de monocultura, parte dessa biomassa viva é perdida, necessitando de fornecer a entrada de nutrientes na forma inorgânica para que a planta consiga absorver e manter a produtividade esperada. Diante disso, a saúde do solo e práticas de manejo sustentáveis têm ganhado atenção, sendo que o efeito da qualidade do solo reflete na boa qualidade das plantas e em sua produtividade.

A fertilidade do solo pode ser mantida por meio da fertilização com adubação orgânica, necessitando da participação dos organismos do solo para o processo de decomposição, por meio das atividades de fragmentação do material orgânico, imobilização e mineralização, para que a planta absorva os nutrientes na forma inorgânica. A entrada de material orgânico também promove o aumento na abundância da fauna do solo, e estes contribuem para a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia, contribuindo para a produtividade do ecossistema (Lopes *et al.*, 2014; Do Santos *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2023).

Um solo saudável suprirá os nutrientes de que a planta necessita para o seu desenvolvimento e conseqüentemente será uma planta produtiva. Solos ricos em matéria orgânica, sem poluição e distúrbios, geralmente, abrigam uma comunidade diversificada e bem desenvolvida da fauna do solo (Menta; Remelli, 2020). Em um experimento realizado por Gonthier *et al.*, 2013, em café cultivado à sombra no México, mostrou-se que em mudas de café classificadas como de alta qualidade, tinha maior abundância de artrópodes (formigas e hemípteros). Os autores atribuíram a maior quantidade de tecido foliar, as mudas de café de maior qualidade, quando comparadas às mudas de café de menor qualidade, usadas como recurso alimentar.

4.4 Macrofauna do solo

A fauna invertebrada do solo compreende os organismos que vivem no solo ou passam pelo menos uma parte do ciclo de vida nele (Lavelle *et al.*, 1997; FAO, 2020), sendo a grande

maioria visível a olho nu (Velasquez; Lavelle; Andrade, 2007). Esses organismos recebem diversas classificações, que podem ser quanto ao seu tamanho corpóreo, distribuição nos perfis do solo, classificação funcional, nível trófico ou grupo taxonômico pertencente (Swift; Heal; Anderson, 1979; Lavelle, 1996; Brown *et al.*, 2001; Potapov *et al.*, 2021). Os organismos de diâmetro corpóreo entre 4 μm – 100 μm são classificados como microfauna, entre 100 μm – 2 mm são classificados como mesofauna e entre 2 mm – 20 mm são classificados como macrofauna (Swift; Heal; Anderson, 1979). A macrofauna é representada por unidades taxonômicas como Formicidae, Coleoptera, Gastropoda, Isoptera, Diplopoda, Chilopoda, Haplotaxida, Orthoptera, Hemiptera, Dermaptera, Arachnida, Diptera, entre outros (Velasquez; Lavelle, 2007; Lavelle *et al.*, 2022) (Figura 1). Os táxons pertencentes à macrofauna do solo têm se mostrado eficientes como bioindicadores da qualidade do solo para detectar impactos dos manejos adotados na cafeicultura, quando comparados com as áreas de florestas nativas (Da Rosa *et al.*, 2015; Dos Santos *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2020).

As classificações que são atribuídas à macrofauna do solo são úteis para uma melhor compreensão das funções que esses habitantes do solo desempenham, assim como um entendimento dos serviços ecossistêmicos intermediados por esses organismos, como o critério trófico e como os engenheiros do ecossistema. As atividades da fauna do solo nos agroecossistemas e florestas são facilmente despercebidas aos olhares superficiais. Porém, e facilmente percebida diante de um processo de restauração do solo ou, no pior dos cenários, em um solo degradado, onde é necessária a reconstrução das complexas relações intrínsecas e extrínsecas entre os indivíduos, assim como as relações entre o meio biótico e o meio abiótico.

Figura 1: Macrofauna invertebrada do solo coletada em Santo Antônio do Amparo - MG.



Legenda: Macrofauna invertebrada do solo coletada em áreas de café e florestas adjacentes em Santo Antônio do Amparo, MG: (A) Hemiptera; (B) Gastropoda; (C) Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae; (D) Araneae; (E) Blattodea e (F) Hymenoptera: Formicidae.

Fonte: Da autora (2023).

4.4.1 Os engenheiros do ecossistema

Os engenheiros do ecossistema são organismos que possuem a capacidade de alterar o ambiente em que estão inseridos por meio de suas atividades (Lavelle *et al.*, 1997). Os principais representantes da macrofauna do solo são minhocas, besouros, formigas e cupins. Os besouros rola-bosta da subfamília Scarabaeinae escavam túneis e galerias, contribuindo com a bioturbação do solo, aumento da aeração e retenção de água no solo, além de realizar a dispersão secundária de sementes, que é um serviço ecossistêmico ligado à fertilização do solo (Nichols *et al.*, 2008). As minhocas, além de viver nas camadas ou na superfície do solo,

utilizam-no como recurso alimentar, conseguindo alterar sua estrutura através de seu trato digestivo, realizando a mistura de solo e matéria orgânica, formando assim coprólitos (dejetos) que contribuem para a agregação do solo (Lavelle *et al.*, 1992; Vaz De Melo *et al.*, 2009). Os cupins utilizam o solo para a construção dos montículos (ninhos) na superfície ou dentro do solo, modificando a paisagem da área onde estão inseridos e promovendo aeração e porosidade do solo (Jouquet *et al.*, 2011). Os cupins são um grupo dominante e abundante em quase todos os ecossistemas terrestres (Neoh *et al.*, 2015), com grupos de hábitos alimentares que se alimentam apenas de madeira, de solo com alto ou baixo teor de material orgânico ou diversos tipos de alimento como matéria orgânica, madeira, solo e microepífitas (Bonovan *et al.*, 2001). Isoptera foi abundante em café integrado com *Arachis pintoi*, e apresentou correlação com carbono da biomassa microbiana – MBC e em um estudo que avaliou os atributos microbiológicos e a fauna do solo com diferentes sistemas de cultivo de café (convencional, orgânico e consorciado) no Brasil (Lammel *et al.*, 2015). As formigas, através da bioturbação em cafezais, conseguem alterar a morfologia do solo realizando a realocação de minerais como argila (García-Cádenas *et al.*, 2022), contribuindo com a agregação do solo.

Os engenheiros do ecossistema conseguem se movimentar nos perfis do solo, realizando a redistribuição de material vegetal e animal em diferentes estágios de decomposição nas camadas do solo, assim como promovem a movimentação de partículas minerais do interior do perfil para a superfície do solo (Anderson, 1988; Pulleman *et al.*, 2012) e vice-versa. As raízes das plantas podem encontrar caminho para o seu crescimento nos túneis e galerias construídos pelos engenheiros do ecossistema (Lavelle, 1996). A presença desses engenheiros do solo favorece uma maior aeração do solo, aumenta a porosidade, a retenção de umidade, a incorporação de material orgânico nas camadas inferiores e a descompactação do solo (Lavelle *et al.*, 1997; FAO, 2020). A abundância de invertebrados do solo está correlacionada de forma positiva com a umidade do solo (Martay; Pearce-Higgins, 2018). Uma das consequências do sistema de monocultura é a tendência à compactação do solo, perda de nutrientes e redução dos invertebrados dos solos (Vasconcellos *et al.*, 2013), causando alterações na estrutura da comunidade da fauna do solo, alterando todo esse ecossistema (Prayogo *et al.*, 2019).

4.4.2 Os grupos tróficos da mesofauna e macrofauna no solo

A comunidade de invertebrados do solo apresenta uma cadeia trófica, em que os organismos estão conectados por relações de alimentação ou outras interações complexas que

podem conectar os organismos em uma emaranhada teia alimentar (Scheu, 2002; Ricklefs, 2013).

A mesofauna e macrofauna do solo estão inseridas nessa cadeia trófica. Os invertebrados do solo podem ser classificados de acordo com seus hábitos alimentares em predadores, detritívoros, fitófagos, frugívoros e onívoros (Ricklefs, 2013; Wong *et al.*, 2019), com base em aspectos comportamentais, morfológicos e ecológicos.

Os predadores se alimentam de presas vivas e contribuem para a manutenção e o equilíbrio das populações. Essa contribuição ocorre por meio de suas atividades alimentares, que realizam o controle populacional dos organismos que estão sendo predados, dessa forma, alteram a abundância e conseqüentemente, a composição das comunidades de suas presas (Scheu, 2002). Da mesma forma, a abundância de suas presas causa flutuações na abundância e diversidade desses predadores (Sales; Baldi; Queiroz, 2018). O controle biológico de pragas é uma forma de reduzir ou eliminar a infestação de pragas que causam prejuízos para a produção da cultura do café, devido ao herbivorismo ou pela transmissão de doenças. Uma das medidas eficazes para reduzir a perda de produtividade da cultura do café, prevista para este século XXI nas regiões de cultivo de café arábica no Brasil, é a intensificação do controle biológico, realizado por invertebrados (Dias; Martins; Martins, 2024). O controle biológico pode ser realizado por predadores, doenças ou parasitoides de forma natural ou aplicada, introduzindo agentes biológicos específicos para cada praga.

Os fitófagos se alimentam de material vegetal vivo, raízes e partes aéreas das plantas (Brussaard, 1998). Embora sejam considerados, em sua grande maioria, como pragas para o café e outras culturas, foi observado em uma plantação de café sombreado no México que, apesar de os fitófagos representarem quase 25% das espécies amostradas, essa plantação não apresentava problemas com pragas, sendo justificada pelo alto número de espécies predadoras e parasitoides (quase 25%) que coexistiram nessa plantação (Moguel; Toledo, 1999). Quando esses invertebrados coexistem em harmonia com o meio em que estão inseridos, contribuem com o equilíbrio dinâmico da cadeia trófica.

No solo encontramos os organismos detritívoros, que se alimentam de material vegetal ou animal morto em diferentes estágios de decomposição, nos perfis do solo ou depositados na serapilheira. Os detritívoros atuam na fragmentação desse material em decomposição, enquanto se alimentam do mesmo, estando diretamente ligados à ciclagem de nutrientes do solo, participando do processo inicial de fragmentação. Os detritívoros podem ser encontrados em maior abundância em ambientes com maior deposição de material vegetal, como em

sistemas agroflorestais de café cultivado à sombra, quando comparados a monocultura do café (Rodríguez; Márquez; Restrepo, 2019) ou em sistema de cultivo orgânico (Dos Santos *et al.*, 2018). Os onívoros são generalistas, se alimentando de diversos recursos que encontram no solo, sendo esses de origem animal ou vegetal (Brown *et al.*, 2001).

Podemos observar uma relação de cooperação entre os organismos do solo, onde invertebrados maiores quebram o material e proporcionam a disponibilidade de recursos para organismos menores. Essas relações intra e interespecíficas entre os invertebrados contribuem para a manutenção e o equilíbrio dinâmico do solo (Vaz De Melo *et al.*, 2009; Ricklefs, 2013). A eliminação de grupos funcionais-chave que regulam as teias alimentares altera esse equilíbrio. A adoção de manejos dessa comunidade da macrofauna invertebrada, em sistemas agrícolas, de forma a promover a diversidade e atividade desses invertebrados, é uma forma de conseguir o equilíbrio de teias alimentares no solo, contribuindo para resiliência do ecossistema em que esses organismos estão inseridos (Lavelle, 1996; Moreira; Siqueira, 2006).

Além de interações entre grupos tróficos da fauna do solo, ocorrem processos ecológicos como competição, parasitismo, mutualismo e doenças. Embora a importância desses processos possa ser subestimada por sua ocorrência, devido ao fato de, muitas vezes, serem invisíveis a nossos olhos e complexos para serem quantificados, são processos importantes, que realizam um serviço ecossistêmico de proteção do ecossistema contra pragas e doenças. Esse serviço ecossistêmico pode proteger a cultura do café contra surtos extremos e pragas recorrentes nessa cultura (Vandermeer; Perfecto; Philpott, 2010). O conjunto desses serviços ecossistêmicos promovidos pela macrofauna do solo podem contribuir para sistemas produtivos e sustentáveis, com maior biodiversidade e resiliência (Nicholls; Altieri; Vázquez, 2017; Hernandez-Vera *et al.*, 2017).

4. 5 Mesofauna do solo

A mesofauna do solo é composta pelo subfilo Hexapoda (classe Entognatha), representada pelas classes Protura, Diplura e Collembola, distinguindo-se de Insecta pelas peças bucais internalizadas. Subfilo Chelicerata (classe Arachnida), ordem Acari (Acari (classe Arachnida), Palpigradi (classe Arachnida), Pauropoda (classe Pauropoda), Enchytraeidae (Ordem Haplotaxida), entre outros.

A mesofauna é facilmente encontrada na serapilheira, mas também habita dentro dos poros nos perfis do solo, principalmente nas camadas de 0-10 cm, podendo ser encontrada nas camadas de 10 a 30 cm, porém em menor quantidade e diversidade (Erniyani; Wahyuni; Pu'u,

2010). Os Collembola e Acari são grupos abundantes e facilmente encontrados no solo (Vaz De Melo *et al.*, 2009; Baretta *et al.*, 2011). Colêmbolos podem responder com até um quarto da abundância total da mesofauna, enquanto Acari pode representar até três quartos da abundância da mesofauna (Yin *et al.*, 2011). Estão presentes em diferentes agroecossistemas, tendo demonstrado grande potencial como bioindicadores de perturbações ambientais (Baretta *et al.*, 2003). A mesofauna apresenta uma rápida resposta, diante de mudanças no ambiente em que estão inseridos, sendo considerados bioindicadores da qualidade do ambiente (Rutgers *et al.*, 2009). Arenhardt *et al.*, 2021, apontaram a riqueza de espécies de Collembola como bioindicador no monitoramento da restauração ecológica no Espírito Santo - Brasil, ressaltando a escassez de estudos sobre a biologia de Collembola na Mata Atlântica.

Assim como a macrofauna, a mesofauna participa da decomposição da matéria orgânica (Primavesi, 2009), contribuindo ainda com o controle populacional de microrganismos como os fungos e bactérias (Baretta *et al.*, 2011; Husamah; Rohman; Sutomo, 2016). Os colêmbolos participam da cadeia trófica servindo de alimento, principalmente para aranhas (Pekar; Toft, 2015). Os vermes enchytraídeos podem contribuir com a estrutura física do solo, devido aos seus excrementos, com alta estabilidade, formando agregados dos solos (Chan; Heenan, 1995).

A mesofauna desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade do solo e na saúde dos ecossistemas, especialmente nas serapilheiras das plantações de café, onde ácaros edáficos e outros invertebrados do solo são dominantes e indicativos da qualidade do solo (Marafeli *et al.*, 2018).

Figura 2 – Mesofauna invertebrada do solo coletada no município de Santo Antônio do Amparo - MG.



Legenda: Mesofauna invertebrada do solo coletada em áreas de café e florestas adjacentes a cafezais: (A) Collembola e (B) Acari.

Fonte: Da autora (2023).

4.6 Conversão do uso da terra e a mesofauna e macrofauna

Dentre as preocupações das principais lideranças mundiais, está a perda de biodiversidade do solo, que, juntamente com a erosão, compactação, desertificação, salinização, causa a degradação do solo (FAO, 2020). O bioma Mata Atlântica, que antes era caracterizado por paisagens contínuas, devido às atividades antrópicas, passou a apresentar uma nova paisagem, composta por um conjunto de fragmentos de florestas tropicais com diferentes tamanhos e formas (Laurance, 2004; Pires; Fernandez; Barros, 2006). Geralmente, esses fragmentos estão imersos em uma matriz agrícola que não oferece pontos de

conectividade entre esses fragmentos, isolando populações de organismos como os invertebrados, fazendo com que, com o tempo, esses fragmentos de florestas percam a capacidade de suporte da biodiversidade da fauna do solo (Rinaldi; Forti, 1997).

A conversão de áreas florestais de Mata Atlântica para o cultivo de cafezais acarretou diminuição da qualidade do solo, quando observados indicadores físicos e químicos do solo, devido, principalmente, às práticas de manejo dos cafezais (Da Rocha Júnior *et al.*, 2020). A mudança no uso da terra para o uso intensivo, com manejos sustentados por fertilizantes químicos, foi associada à destruição de habitats de nidificação, modificação de microclima, remoção de substratos e baixa disponibilidade de recursos alimentares para a comunidade invertebrada do solo (Ayuke *et al.*, 2009). Esse ambiente modificado por interferências antrópicas pode contribuir para uma menor riqueza de invertebrados do solo, quando comparados com áreas de floresta nativa (Baretta *et al.*, 2010). A transformação da floresta por cafezais contribui com a redução na capacidade dos solos em fornecer serviços ambientais, quando comparados à floresta anteriormente estabelecida (Da Rocha Júnior *et al.*, 2020).

4.7 Bioindicadores da qualidade do solo

A qualidade do solo é avaliada por meio das análises químicas e físicas do solo, sendo esses métodos já bastante consolidados. Porém, diante da importância dos organismos vivos do solo, assim como sua rápida capacidade responsiva diante de alterações e perturbações causadas no ambiente em que esses organismos estão inseridos, tem-se avaliado a parte biológica para fazer inferência sobre a qualidade do solo. Essa rápida capacidade de resposta dos organismos do solo diante de perturbações pode ser atribuída à íntima relação com o solo devido à alimentação e nidificação.

Bioindicadores de qualidade do solo são espécies ou grupos de espécies que apresentam respostas genéticas, fisiológicas, histológicas, ecológicas ou comportamentais, que são interpretadas como respostas diante de uma alteração ou perturbação no solo, permitindo fazer inferências sobre a qualidade do mesmo (Simberloff, 1998; Caro, 2010). Entre os bioindicadores, os invertebrados são os grupos mais utilizados para observar a qualidade do solo (Siddig *et al.*, 2016). As espécies utilizadas para avaliar a qualidade do solo precisam atender a algumas premissas para serem consideradas espécies bioindicadoras. Essas espécies precisam ser sensíveis a eventos específicos nas propriedades e condições do solo em questão, de modo que seu comportamento seja afetado por essas alterações (Dale; Beyeler, 2001; Urban *et al.*, 2012). Um exemplo de espécies sensíveis a alterações no solo são as formigas, cujo comportamento pode ser compreendido por meio da riqueza, diversidade e

composição de espécies, além da facilidade na sua amostragem (Schmidt; Ribas; Schoederer, 2013). A ampla distribuição de um grupo, a facilidade de coleta, além de uma biologia conhecida, são características que devem ser levadas em consideração para considerar uma espécie como indicadora. Por atenderem a essas condições, os besouros rola-bosta são considerados bioindicadores (Nichols *et al.*, 2007), e o táxon Araneae, que é um importante indicador de qualidade ambiental (Rinaldi; Forti, 1997; Da Silva *et al.*, 2020).

As atividades antrópicas praticadas nas lavouras cafeeiras têm influência na fauna do solo, fazendo desses organismos bons indicadores da qualidade do solo (Dos Santos *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2020). Dentre os grupos da macrofauna Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Gastropoda, Isoptera, Oligochaeta e Orthoptera foram os bioindicadores da qualidade do solo que melhor conseguiram responder aos diferentes manejos de cultivo (Dos Santos *et al.*, 2018). Nesse sentido, podemos testar a capacidade de separação de áreas de café com condições distintas de qualidade do solo, sendo que a qualidade edáfica tem influência na comunidade de invertebrados do solo (Gonthier *et al.*, 2013). A presença da mesofauna e macrofauna do solo se mostrou eficiente como bioindicador para avaliar os diferentes manejos de cultivos de cafés orgânicos, com a boa qualidade do solo e com a preservação da vegetação nativa (Pimentel *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2018).

3.2 Mesofauna e macrofauna em cafezais na Mata Atlântica

Temos conhecimento de que as características químicas, físicas e biológicas são pilares para um solo saudável, de forma que essas, estando de forma equilibrada e satisfatória, irão conseguir suprir as necessidades nutricionais da planta, permitindo sua capacidade de produção. Porém, ainda não temos o conhecimento se a comunidade da mesofauna e macrofauna do solo é sensível às diferenças na produtividade cafeeira.

Até o presente momento, sabemos que as monoculturas anuais reduzem a abundância e diversidade dos macro invertebrados do solo (Lugo, Ibañez, Lavelle, 2024). Porém, ainda não sabemos como a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo é influenciada em se tratando de uma monocultura perene como o café, onde não ocorre o revolvimento do solo. Da Silva *et al.*, 2020, avaliaram a comunidade edáfica como potencial bioindicadora da qualidade do solo na monocultura de café no Sul de Minas Gerais, porém não avaliaram os parâmetros físicos do solo. Ainda não compreendemos como a perda de biodiversidade altera a estrutura da macrofauna em classificações taxonômicas menores, como famílias de Coleopteros, gêneros e morfoespécies de Araneae, que são importantes

representantes da fauna do solo. As classificações taxonômicas maiores, com classe e ordem, são frequentemente usadas para avaliar a fauna do solo (Lavelle *et al.*, 2020). Porém, tem-se uma grande variação de famílias, gêneros e espécies dentro de uma única ordem. Dentre os insetos, Coleoptera é a ordem mais numerosa, com 113 famílias (Rafael *et al.*, 2024) e Araneae são predadores, representando um importante grupo, considerado, entre outros grupos, topo da cadeia trófica do solo. Nesse sentido, a ordem Coleoptera foi identificada até família e Araneae foi identificada até gênero, buscando compreender se classificações taxonômicas menores são mais eficientes em identificar as variações de produtividade avaliadas nesse trabalho, assim como a mudança do uso da terra de uma floresta para o monocultivo de cafezais.

Considerando a importância do café, sua ampla distribuição no bioma Mata Atlântica e a relevância da macrofauna e mesofauna do solo para a sustentabilidade dos ecossistemas, poucos artigos sobre o tema foram realizados no Brasil. Todos se restringiram aos estados maiores produtores (MG, SP e ES), mas abordaram diferentes metodologias, avaliaram diferentes categorias taxonômicas e não relacionaram a comunidade da fauna com a produtividade e apenas um relacionou com atributos químicos do solo. A Mata Atlântica mantém uma comunidade da macrofauna que sofre alterações quando substituídas por monocultura convencional de café (Marques *et al.*, 2014; Guimarães *et al.*, 2016; De Almeida *et al.*, 2020). Os poucos trabalhos que avaliaram a fauna do solo nas monoculturas de cafezais de Minas Gerais não avaliaram a estrutura dessa comunidade em classificações taxonômicas menores, além de não investigarem a influência dessa comunidade na produtividade cafeeira.

Para compreender essas lacunas existentes na literatura científica, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em forma de tabela (Tabela 1). Esses artigos encontram-se citados ao longo desse trabalho, porém, a representação visual auxilia na compreensão do que tem sido realizado até o momento, e as lacunas que ainda necessitam de informações. Nesta tabela, é apresentada uma seleção de artigos que abordam temas relacionados ao presente estudo. A busca por esses artigos foi realizada na base “Google acadêmico”, “Science Direct”, “SciELO”, “Web of Science” com as seguintes palavras-chave: “coffee plantations”, “Atlantic Forest”, “Brazil”, “mesofauna”, “macrofauna”, “soil fauna”, “soil invertebrates”.

Desta forma, buscamos compreender como a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo influencia a produtividade das monoculturas de cafezais cultivados em áreas adjacentes às florestas de Mata Atlântica. Para este estudo, usamos como variáveis explicativas as variáveis químicas como matéria orgânica, pH, macro e micronutrientes, soma de base e capacidade de troca catiônica e efetiva e variáveis físicas do solo como densidade e textura.

Tabela 1: Pesquisa bibliográfica sobre mesofauna e macrofauna do solo em cafezais e florestas inseridas no bioma Mata Atlântica - Brasil.

| Revista publicação | Autores/ ano | Local | Variedade | Tratamento | Objetivo | Método coleta | Macro | Meso | Estação | identificação | Variáveis | Relacionou variáveis com fauna? | Parâmetros |
|--|------------------------------|--|------------------|---|--|--------------------|-------|------|------------------|-------------------------------|---|---------------------------------|--|
| 1 - Bioscience Journal, Qualis B2. | Marques et al., 2014 | Campos Gerais - MG | ND | Eucalipto, cafeicultura e mata ciliar. | Estudar a biodiversidade da macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais e em serrapilheira e solo | Monólito | x | - | Inverno e verão. | Sub classe e ordem | ND | não | Densidade, diversidade. |
| 2 - R. Bras. Ci. Solo Jc. 1.7 Qualis A3 | Rosa et al., 2014 | Planalto Sul Catarinense | Não avaliou café | Floresta nativa; Eucalipto; Pastagem; ILP com planto direto | Relacionar os sistemas de uso do solo e os efeitos deles sobre a distribuição de grupos da macrofauna do solo, bem como a relação desses com os atributos físicos e químicos do solo | Monólito | x | | Inverno e verão. | Ordem | Química | sim | Densidade e riqueza. |
| 3 - Coffea Science, Qualis B3, jcr 0.225 | Guimarães et al., 2016 | Santo Antônio do Jardim, SP N. 20 | Obatã | Cafeeiro exclusivo; Cafeeiro consórcio Brachiaria; Pousio; Fragmento nativo. | O trabalho objetivou avaliar a estrutura da comunidade da fauna invertebrada epigéica associada a diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. | Pitfall | x | x | Inverno | Ordem | Precipitação, Temp., Umidade, serrapilheira, | Não | Diversidade e abundância |
| 4 - Revista Brasileira de Agroecologia | Sales, Baldi, Queiroz - 2018 | Jaguaré - ES. 9 rep./ 2 trat. n. 36 | Conilon | Consorcio café (seringueira/pimenta preta e cacauero) e monocultura | Estudar o efeito do consórcio de cafeeiro e monocultivo na meso e macrofauna do norte do ES durante 13 meses. | Pitfall | x | x | Inverno e verão. | Classe, ordem e família. | ND | Não | Diversidade, Abundância |
| 5 - Brazilian Journal of Development, Qualis B2. Jcr 0.469 | Silva et al., 2020 | Ouro Fino MG | ND | Mata conservada, mata impactada e cultivo de cafeeiro. | Verificar o potencial da fauna edáfica como indicadora da qualidade do solo e/ou ambiental em fragmentos com diferentes estágios de conservação do bioma Mata Atlântica e área sob cultivo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. | Monolito e pitfall | x | - | Inverno | Ordem e família | Química, umidade e teor de matéria seca da serrapilheira). Química tradicional. | Sim | Diversidade e abundância |
| 6 - Brazilian Journal of Development, Qualis B2 | Aquino, Chaves e Pina, 2020. | Itamaraju - Bahia. 100 n | Conilon | Café conilon /seringueira e Sistema monocultivo tradicional. | O objetivo desta pesquisa foi avaliar a entomofauna edáfica em dois tipos de cultivos de café conilon no Extremo Sul da Bahia. | Pitfall | x | - | Inverno e verão. | Ordem. | ND | não | Abundância e diversidade |
| 7 - Revista Ifes Ciência, Qualis C | Almeida et al., 2020 | Espirito Santo (Ifes) - Campus de Alegre | ND | Monocultivo de café; Área em recuperação com plantio de espécies nativas; Fragmento nativo. | O objetivo do trabalho foi caracterizar a fauna de invertebrados edáficos em áreas com distintas coberturas vegetais e diferentes usos do solo. | Pitfall | x | - | ND | Ordem e família | ND | não | Diversidade, abundância e grupo funcional. |
| | Vaz et al, 2024 | Santo Antônio do Amparo - MG | | Fragmento nativo Mata Atlântica e monocultivo de café. | Nosso trabalho tem por objetivo avaliar a estrutura da meso e macrofauna do solo em cafezais com maior e menor produtividade e em florestas adjacentes inseridas no bioma Mata Atlântica | Pitfall | x | | Verão | Ordem, família e morfoespécie | Química e Física. | Sim | Diversidade Abundância e Bioindicadores. |

Legenda: Nas linhas acima (1 a 7), estão representados os trabalhos realizados até o momento. Os espaços preenchidos em verde, são metodologias e análises que esses autores realizaram e que estamos realizando através desse trabalho. A última linha dessa tabela, com os espaços preenchidos em verde, representa o trabalho que estamos desenvolvendo. ND = Não determinado, n = número de amostras, rep. = repetições.

Fonte: Da autora (2023).

4 REFERÊNCIAS

AB' SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. **Ateliê Editorial**. São Paulo, v. 1, 2003.

AYUKE, F. O. *et al.* Macrofauna diversity and abundance across different land use systems in Embu, Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 11 n. 2, p. 371–384, 2009.

ANDERSON, M. J. Invertebrate-mediated transport processes in soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 24, n. 1-3, p. 5-19, 1988.

ARENHARDT, T.C. P.; VITORINO, M. D.; MARTINS, S. V. Insecta and Collembola as bioindicators of ecological restoration in the Ombrophilous Dense Forest in Southern Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 4, p. e20210008, 2021.

BARETTA, D. *et al.* Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p.97-106, 2003.

BARETTA, D. *et al.* Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119 - 170, 2011.

BRASIL, Ministério do M. A. **Mata Atlântica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/mata-atlantica>>. Acesso em: 2 jun. 2023.

BRUSSAARD, L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. **Applied Soil Ecology**, v. 9, ed. 1-3, p. 123-135, 1998.

BERNARDES, M. S.; KHATOUNIAN, Carlos A. Cafeicultura a pleno sol supera o vantajoso sistema agroflorestal. **Visão Agrícola**, v. 12, p. 85–87, 2013.

BROWN, G. G. *et al.* Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta zoológica mexicana (nueva serie)**, n. Es1, p. 79-110, 2001.

CARO, T. Conservation by Proxy: Indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species. Island Press, 2010.

CECAFÉ. **História do café**. Disponível em: <<https://www.cecafe.com.br/sobre-o-cafe/historia-do-cafe/>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. Occurrence of enchytraeid worms and some properties of their casts in an Australian soil under cropping. **Soil Research**, v. 33, n. 4, p. 651-657, 1995. <https://doi.org/10.1071/SR9950651>

COLLEN, B. *et al.* Monitoreo del cambio en la abundancia de vertebrados: El 'Índice del planetaviviente. **Conservation Biology**, v. 23, n. 2, p. 317–327, 2009.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Café. **Boletim da Safra 2023**, v. 9, n. 1º levantamento, 2023.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Café. **Boletim da Safra 2022**, v. 9, n. 4º levantamento, 2022.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators.

Ecological Indicators, v. 1, n. 1, p. 3–10, 2001.

DA SILVA, D. C. *et al.* Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-375>

DA ROCHA JUNIOR, P. R. *et al.* Soil quality indicators to evaluate environmental services at different landscape positions and land uses in the Atlantic Forest biome. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 7, p. 100047, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100047>

DA ROSA, M. G. *et al.* Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150033>

DE ALMEIDA, R. N. *et al.* Estudo de invertebrados edáficos em áreas distintas quanto ao uso do solo. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 2, p. 195 - 206, 2020. <https://doi.org/10.36524/ric.v6i2.477>

DIAS, C. G.; MARTINS, F. B.; MARTINS, M. A. Climate risks and vulnerabilities of the Arabica coffee in Brazil under current and future climates considering new CMIP6 models. **Science of The Total Environment**, p. 167753, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167753>.

DOS SANTOS, J. B. *et al.* Soil macrofauna in organic and conventional coffee plantations in Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515>

ERNIYANI, K.; WAHYUNI, S.; PUU, Y. M. S. W. Struktur komunitas mesofauna tanah perombak bahan organik pada vegetasi kopi dan kakao. **Agrica: Journal of Sustainable Dryland Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2010. <https://doi.org/10.37478/agr.v3i1.488>

FAO *et al.* **State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities**. Rome: Report 2020.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011. <https://doi.org/10.1038/nature10452>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e sistemas costeiros do Brasil**, 2019. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html> . Acesso em: 02/06/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santo-antonio-do-amparo/panorama>>. Acesso em: 2 jun.2023.

GALINDO, V. *et al.* Land use conversion to agriculture impacts biodiversity, erosion control, and key soil properties in an Andean watershed. **Ecosphere**, v. 13, n. 3, p. e3979, 2022. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3979>

GARCÍA-CÁRDENAS, D. R. *et al.* Functional significance of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (Formicidae) in coffee plantations: An enemy or an ally? **Pedobiologia**, v. 93, p. 150825, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150825>

GONTHIER, D. J. *et al.* Bottom-up effects of soil quality on a coffee arthropod interaction web. **Ecosphere**, v. 4, n. 9, p. 1-15, 2013.

GUERRA, C. A. *et al.* Blind spots in global soil biodiversity and ecosystem function research. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 3870, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17688-2>

GUIMARÃES, N. de F. *et al.* Fauna invertebrada epigéica associada a diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Coffee Science**_v.11, n.4, p. 484 – 494, 2016. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8243>

HADDAD, N. M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. 1–10, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.15000

HERNANDEZ - VERA, D. *et al.* Are there any differences in carbon concentration among species of high conservation value forests in Northern Mexico? **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. v. 49, n. 2, p. 183-192,2017.

HUSAMAH, H, ROHMAN, F., SUTOMO, H. Struktur Komunitas Collembola pada Tiga Tipe Habitat Sepanjang Daerah Aliran Sungai Brantas Hulu Kota Batu. **BIOEDUKASI, Jurnal Pendidikan Biologi**, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2016.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2006.

JOUQUET, P. *et al.* Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 215-222, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.005>

LAMMEL, D. R. *et al.* Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 894-905,2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02414>

LATINI, A. O. *et al.* Reconciling coffee productivity and natural vegetation conservation in an agroecosystem landscape in Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 57, p. 125902, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125902>

LAURANCE, W. F. Florest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 359, n. 1443, p. 345-352, 2004. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1430>

LAVELLE, P. *et al.* Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. **Myths and Science of Soils of the Tropics**, v. 29, p. 157-185, 1992.

LAVELLE, P. Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biology International**, n. 33, 1996.

LAVELLE, P. *et al.* Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. France: **European Journal of Soil Biology**. v. 33, n. 4, p. 159–193, 1997.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. Soil ecology. Springer Science & Business Media, 2002.

LAVELLE, P. *et al.* Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>

LAVELLE, P. *et al.* Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261-1276, 2022.

LOPES, P. R. *et al.* Uma análise das consequências da cafeicultura convencional e as opções demodelos sustentáveis de produção—agricultura orgânica e agroflorestal. **REDD—Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, 2014. <https://doi.org/10.32760/1984-1736/REDD/2014.v8i2.6912>

LUGO, E. H.; IBÁÑEZ, E. V.; LAVELLE, P. A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. **Applied Soil Ecology**, v. 193, p. 105138, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105138>

RODRÍGUEZ, N. R.; MÁRQUEZ, S. M.; RESTREPO, L. F. The edaphic macrofauna in three components of the coffee plant arrangement associated with different management typologies, Antioquia, Colombia. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 51, n. 2, p. 78-88, 2019.

MARAFELI, P. de P, *et al.* Faunistic Analysis of Soil Mites in Coffee Plantation. **Communities**, v. 2, p. 3. 2018. VASCONCELLOS, R. L. F *et al.* Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.07.001>

MARTINS, L. L. A naturalist's vision of the tropics: Charles Darwin and the Brazilian landscape. **Singapore journal of tropical geography**, v. 21, n. 1, p. 19–33, 2000. <https://doi.org/10.1111/1467-9493.00061>

MARQUES, D. M. *et al.* Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience**

journal (Online), p. 1588-1597, 2014.

MARTAY, B.; PEARCE-HIGGINS, J. Using data from schools to model variation in soil invertebrates across the UK: The importance of weather, climate, season and habitat.

Pedobiologia, v. 67, n. September 2017, p. 1–9, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2018.01.002>

MENTA, C.; REMELLI, S. Soil health and arthropods: From complex system to worthwhile investigation. **Insects**, v. 11, n. 1, p. 54, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE - BRASIL. **Mata Atlântica**. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/mata-atlantica>>. Acesso em: 1jun. 2023.

MITTERMEIER, R. A. *et al.* Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots.

Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas, p. 3-22, 2011. Doi:10.1007/978-3-642-20992-5_1

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, 2000.

<https://doi.org/10.1038/35002501>

MOGUEL, P.; TOLEDO, V. M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. **Conservation biology**, v. 13, n. 1, p. 11-21, 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Ed.UFLA, 2006.

NEOH, K. B. *et al.* Termite diversity and complexity in Vietnamese agroecosystems along a gradient of increasing disturbance. **Journal of insect conservation**, v. 19, p. 1129-1139, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9828-8>

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; VAZQUEZ, L. Agroecological principles for the conversion of farming systems. In: **Agroecological practices for sustainable agriculture: principles, applications, and making the transition**. p. 1-18, 2017. Doi:10.4172/2157-7625.S5-010

NICHOLS, L. *et al.* Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dungbeetles. **Biological conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p.793-810, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>

PEKÁR S., TOFT, S. Trophic specialisation in a predatory group: the case of prey-specialised spiders (Araneae). **Biological Reviews**. v. 90. 744-761. 2015. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1111/brv.12133>

PIMENTEL, M. S. *et al.* Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems.

Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 46 N^o. 5, p. 546–553, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000500013>

PIRES, A. S.; FERNANDEZ, F. A. S; BARROS, C. S. Vivendo em um mundo em pedaços: efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações animais. **Biologia da Conservação: Essências**. p. 231-260, 2006.

POTAPOV, A. M. *et al.* Size compartmentalization of energy channeling in terrestrial belowground food webs. **Ecology**, v. 102, n. 8, p. e03421, 2021. <https://doi.org/10.1002/ecy.3421>

PRAYOGO, C. *et al.* Soil macrofauna diversity and structure under different management of pine-coffee agroforestry system. **Journal of degraded and mining lands management**, v. 6, n. 3, p. 1727, 2019. DOI:10.15243/jdmlm.2019.063.1727

PRIMAVESI, A. Cartilha do solo. **Fundação mokiti Okada**, São Paulo, p. 67, 2009.

PULLEMAN, M. *et al.* Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current opinion in environmental sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529–538, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>

SALES, E. F.; BALDI, A.; QUEIROZ, R. B. Fauna edáfica em sistema agroflorestal e em monocultivo de café conilon. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, n. 5, 2018. <https://doi.org/10.33240/rba.v13i5.22681>.

SCHEU, S. The soil food web: structure and perspectives. **European journal of soil biology**, v.38, n. 1, p. 11-20, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01117-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01117-7)

SIDDIG, A. A. H. *et al.* How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in Ecological Indicators. **Ecological Indicators**, v.60, p. 223–230, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.036>

SOS MATA ATLÂNTICA, Fundação; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica. **Relatório técnico**. São Paulo, 2020. <https://www.gov.br/inpe/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos> . Acesso em: 02/06/2023.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n.6, p. 1141–1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**, p. 405-434, 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_21

RICKLEFS, R. E. **A economia da Natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2013.

RINALDI, I. M.P.; FORTI, L. C. Hunting spiders of woodland fragments and agricultural habitats in the Atlantic rain forest region of Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and**

Environment, 32:4, 244-255, 1997. DOI: 10.1080/01650521.1997.11432429

RUTGERS, M., *et al.* Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 5, p. 820-832, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01163.x>

SCHMIDT, F. A.; RIBAS, C. R.; SCHOEREDER, J. H. How predictable is the response of antassemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 158-166, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.031>

SIMBERLOFF, D. Flagships umbrellas and keystone: is single-species management passé in the landscape era? **Biological Conservation**, v. 83, n. 3, p. 247–257, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00081-5)

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. Decomposition in terrestrial ecosystems. **Studies in ecology**, v. 5, 1979.

URBAN, N. A. *et al.* Improving selection of indicator species when detection is imperfect. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 188–197, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.031>

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I.; PHILPOTT, S. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: uncovering an autonomous ecosystem service. **BioScience**, v. 60, n.7, p. 527-537, 2010. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.7.8>

VASCONCELLOS, R. L.F *et al.* Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105-112, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.07.001>

VAZ DE MELO, F. *et al.*, 2009. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da SBCS** 34, 38-43.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3066–3080, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. **Acta Oecologica**, v. 100, p. 103446, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>

VELMOUROUGANE, K.; BHAT, R. Sustainability Challenges in the Coffee Plantation Sector. **Sustainability Challenges in the Agrofood Sector**, p. 616–642, 2017. <https://doi.org/10.1002/9781119072737.ch26>

WONG, M. K. L; GUÉNARD, B.; LEWIS, O. T. Trait-based ecology of terrestrial arthropods. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 999-1022, 2019. <https://doi.org/10.1111/brv.12488>

YIN, R. *et al.* Climate change does not alter land-use effects on soil fauna communities. **Applied Soil Ecology**, v. 140, p. 1-10, 2019.

ZHU, Y. *et al.* Fertilization alters the abundance but not the diversity of soil fauna: A meta-analysis. **Global Ecology and Biogeography**, v. 32, n. 4, p. 482-494, 2023.
<https://doi.org/10.1111/geb.13641>

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

(Artigo redigido conforme normas do MANUAL DE NORMALIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TRABALHOS ACADÊMICOS: TCCS, MONOGRAFIAS, DISSERTAÇÕES E TESES da Universidade Federal de Lavras - 4a edição revista, atualizada e ampliada)

ESTRUTURA DAS COMUNIDADES DA MESOFAUNA E MACROFAUNA DO SOLO EM CAFEZAIS COM MENORES E MAIORES PRODUTIVIDADES E EM FLORESTAS ADJACENTES INSERIDAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Kátia Augusta Silva Vaz^a, Vanesca Korasaki^b, João Vitor Moraes de Castro^a, Teotônio Soares de Carvalho^a, Éder Rodrigues Batista^a, Victor Manoel da Costa^a, LuizOtávio Cortez^c, Antonio Domingos Brescovit^d, Fatima Maria de Souza Moreira^a

^a Universidade Federal de Lavras, Escola de Ciências Agrárias, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, Minas Gerais, MG37200-900, Brazil

^b Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Avenida Escócia, 1001. Bairro Cidade das Águas Frutal, Minas Gerais, MG 38202-436, Brasil

^c Universidade Federal de Lavras, Instituto de Ciências Naturais, Departamento de Ecologia e Conservação, Lavras, MinasGerais, MG 37200-900, Brazil

^d Instituto Butantan, Laboratório de Coleções Zoológicas, Av. Vital Brasil, 1500, Butantã, São Paulo, SP, 05503-900, Brasil

RESUMO

A cultura do café contribui de forma expressiva para a economia brasileira e o estado de Minas Gerais responde por mais de 60% de a toda área cultivada de café arábica no país. No Brasil, grande parte do café é produzido em sistema de monocultura, que contribui com um ambiente com restrição de diversidade de recursos alimentares e micro habitats para os organismos benéficos do solo. A comunidade da mesofauna e macrofauna do solo habita a serapilheira e os diferentes perfis do solo, realizando funções ecológicas e serviços ecossistêmicos como a ciclagem de nutrientes, controle biológico e decomposição da matéria orgânica. Dessa forma, possuem uma íntima relação com a fertilidade do solo e conseqüentemente com a produtividade das culturas estabelecidas. O objetivo geral deste estudo foi avaliar a estrutura da comunidade de mesofauna e macrofauna em áreas de café de maior e menor produtividade, utilizando áreas de florestas adjacentes como sistema referência. Este estudo foi conduzido em monocultura de cafés inseridos no Bioma Mata Atlântica, Minas Gerais, Brasil. A amostragem foi realizada por meio de armadilhas de queda, tipo pitfall, em pares de cafezais que, apesar de serem cultivados com a mesma variedade, receberem o mesmo manejo, possuem a mesma idade de plantio, apresentam produtividades deferentes. Análise de redundância baseada em distância (dbRDA), utilizada para avaliar mudanças na composição das comunidades entre os usos da terra. Houve uma redução na abundância, riqueza e diversidade (números de Hill 1 e 2) das comunidades de Coleoptera e Araneae com a conversão de floresta para os cafezais. Entretanto, para a maioria dos táxons da mesofauna e macrofauna, tais reduções foram identificadas na abundância. A análise dbRDA mostrou um claro padrão de separação da mesofauna e

macrofauna dos cafezais de maior e menor produtividade e das florestas adjacentes ($p < 0,05$). Concluímos que a mesofauna e macrofauna são sensíveis para identificar as variações de produtividade avaliadas nesse trabalho, sendo drasticamente reduzidas com a conversão do uso da terra para monocultura de café.

Palavras-chave: Invertebrados. *Coffea arabica*. Fauna de solo.

ABSTRACT

Coffee cultivation contributes significantly to the Brazilian economy, and the state of Minas Gerais accounts for more than 60% of all the area cultivated with Arabica coffee in the country. In Brazil, most of the coffee is produced in monoculture systems, which contribute to an environment with limited diversity of food resources and microhabitats for beneficial soil organisms. The soil mesofauna and macrofauna community inhabits the litter and different soil profiles, performing ecological functions and ecosystem services such as nutrient cycling, biological control, and decomposition of organic matter. Thus, they have a close relationship with soil fertility and, consequently, with the productivity of established crops. The general objective of this study was to evaluate the structure of the mesofauna and macrofauna community in coffee areas with higher and lower productivity, using adjacent forest areas as a reference system. This study was conducted in coffee monocultures inserted in the Atlantic Forest Biome, Minas Gerais, Brazil. Sampling was performed using pitfall traps in pairs of coffee plantations that, despite being cultivated with the same variety, receiving the same management, and having the same planting age, present different productivity. Distance-based redundancy analysis (dbRDA) was used to evaluate changes in community composition between land uses. There was a reduction in abundance, richness, and diversity (Hill numbers 1 and 2) of Coleoptera and Araneae communities with the conversion of forest to coffee plantations. However, for most mesofauna and macrofauna taxa, such reductions were identified in abundance. The dbRDA analysis showed a clear pattern of separation of mesofauna and macrofauna from the highest and lowest productivity coffee plantations and from the adjacent forests ($p < 0.05$). We conclude that mesofauna and macrofauna are sensitive to identify the productivity variations evaluated in this study, being drastically reduced with the conversion of land use to coffee monoculture.

Keywords: Invertebrates. Arabica coffee. Soil fauna.

1 INTRODUÇÃO

A mesofauna e macrofauna do solo são constituídas por invertebrados que possuem uma relação intrínseca com o solo, contribuindo para a melhoria da aeração, formação de agregado do solo e o aumento da infiltração de água e, conseqüentemente, umidade do solo (Menta; Remelli, 2020). Esses invertebrados atuam na fragmentação e dinâmica da matéria orgânica (Culliney, 2013; Bagyaraj; Nethravathi; Nitin, 2016), contribuindo com a ciclagem de nutrientes (Nichols *et al.*, 2008) e no controle biológico (Scheu, 2002). São grupos de invertebrados sensíveis às mudanças e alterações antrópicas que ocorrem no uso e ocupação da terra, sendo um importante indicador da qualidade ambiental em ecossistemas naturais e em agroecossistemas (Baretta *et al.*, 2011; Da Silva *et al.*, 2020), portanto utilizados em estudos ecológicos (Steinwandter *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2022; Vanolli *et al.*, 2023).

A conversão de um ecossistema dinâmico e heterogêneo com alta diversidade biológica, como a Mata Atlântica, para áreas de monocultura, caracterizadas por um sistema homogêneo e com limitado fornecimento de recursos alimentares para a fauna do solo, tem afetado a biodiversidade dos invertebrados do solo (Lavelle *et al.*, 2022). Uma das conseqüências dessa mudança é a perda de funções ecológicas e serviços ecossistêmicos e o empobrecimento do solo, comprometendo a sustentabilidade desse ecossistema a longo prazo (FAO, 2020).

O Brasil é reconhecido mundialmente como o maior produtor e exportador de café, com uma área plantada de 2,26 milhões de hectares (Ministério da agricultura e pecuária, 2023). Em 2023 a produção total de café no Brasil foi de 50.920 mil sacas (CONAB, 2023). Dentre os estados brasileiros, Minas Gerais se destaca como o líder em área plantada (73% de toda a área cultivada) e como o maior produtor nacional de café arábica (CONAB, 2023), passando os estados do Paraná, São Paulo, historicamente líderes na produção (Volsi *et al.*, 2019). A produção do café tem passado por importantes mudanças, impulsionadas por novos mercados consumidores mais exigentes em qualidade e focados no processo de produção (Volsi *et al.*, 2019). Os trabalhos com a macrofauna invertebrada do solo estão concentrados nos estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro (Araújo *et al.* 2020), com poucos trabalhos para o estado de Minas Gerais. Foi demonstrado na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais (Ouro fino e Campos Gerais) no Domínio Mata Atlântica que as florestas mantêm uma comunidade diversificada da fauna do solo que é alterada quando substituídas por sistemas de monocultura convencional do café (Da Silva *et al.*, 2020; Marques *et al.*, 2014). No entanto, estes dois únicos trabalhos não abordam o efeito da mudança de uso da terra (Mata Atlântica para monocultura de café) nos aspectos da estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do

solo e sua relação com a produtividade de café, e só um deles (DaSilva *et al.*, 2020) a relaciona com os atributos químicos do solo. Compreender a relação entre os grupos da mesofauna e macrofauna e a produtividade do café é relevante devido a necessidade de adotar manejos de produção sustentáveis para o café produzido em Minas Gerais, especialmente frente à crescente consciência ambiental. Esse entendimento pode auxiliar a implementar técnicas de manejo do solo que otimizem a diversidade da mesofauna e macrofauna do solo, assim como as funções ecológicas e serviços ecossistêmicos que esses organismos edáficos realizam.

A mesofauna e macrofauna do solo é importante para a manutenção da qualidade do solo, e face a interação entre organismos x planta que afeta direta e/ou indiretamente a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Wurst *et al.*, 2018). Nesse sentido, supomos que sistemas de café que recebem o mesmo tratamento de insumos químicos, possuem o mesmo ano de plantio, são cultivados com a mesma variedade de café e no mesmo tipo de solo, quando com diferenças na produção, a resposta possa estar na estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna edáficas. Partindo do princípio de que um solo saudável irá conseguir suprir as necessidades nutricionais da planta, permitindo que essa apresente o esperado de sua produtividade, nossa hipótese é que os cafés que possuem maior produtividade estejam inseridos em solos com maior diversidade, riqueza e abundância da mesofauna e macrofauna do solo.

A Mata Atlântica mantém uma comunidade da macrofauna que sofre alterações quando substituídas por monocultura convencional de café (Marques *et al.*, 2014; Guimarães *et al.*, 2016; De Almeida *et al.*, 2020; Da Silva *et al.*, 2020). Os poucos trabalhos que avaliaram a fauna do solo nas monoculturas de cafezais de Minas Gerais (Marques *et al.*, 2014; Da Silva *et al.*, 2020) não avaliaram a estrutura dessa comunidade em classificações taxonômicas menores como família e gênero, além de não investigarem a influência dessa comunidade na produtividade cafeeira de monocultivo. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi comparar a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna com a produtividade (sacas/hectare) de talhões de cafezais de maior e menor produtividade inseridos no bioma Mata Atlântica. Para isso, foi avaliada a estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo diante da conversão do uso da terra nos talhões de café com maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes por meio da (1) abundância, (2) riqueza e (3) diversidade (número de Hill 1 e 2). Este trabalho teve como objetivo identificar grupos indicadores de monocultivo de café e das florestas adjacentes a esses cafezais. Considerando que os invertebrados do solo atuam efetivamente na decomposição da matéria orgânica e conseqüentemente influenciam a ciclagem de nutrientes (Wurst *et al.*, 2018), esse trabalho teve também o objetivo de verificar

se as variáveis físicas (densidade e textura) e químicas (matéria orgânica, pH, macro e micronutrientes) influenciam a comunidade da mesofauna e macrofauna do solo nos cafezais e florestas avaliados.

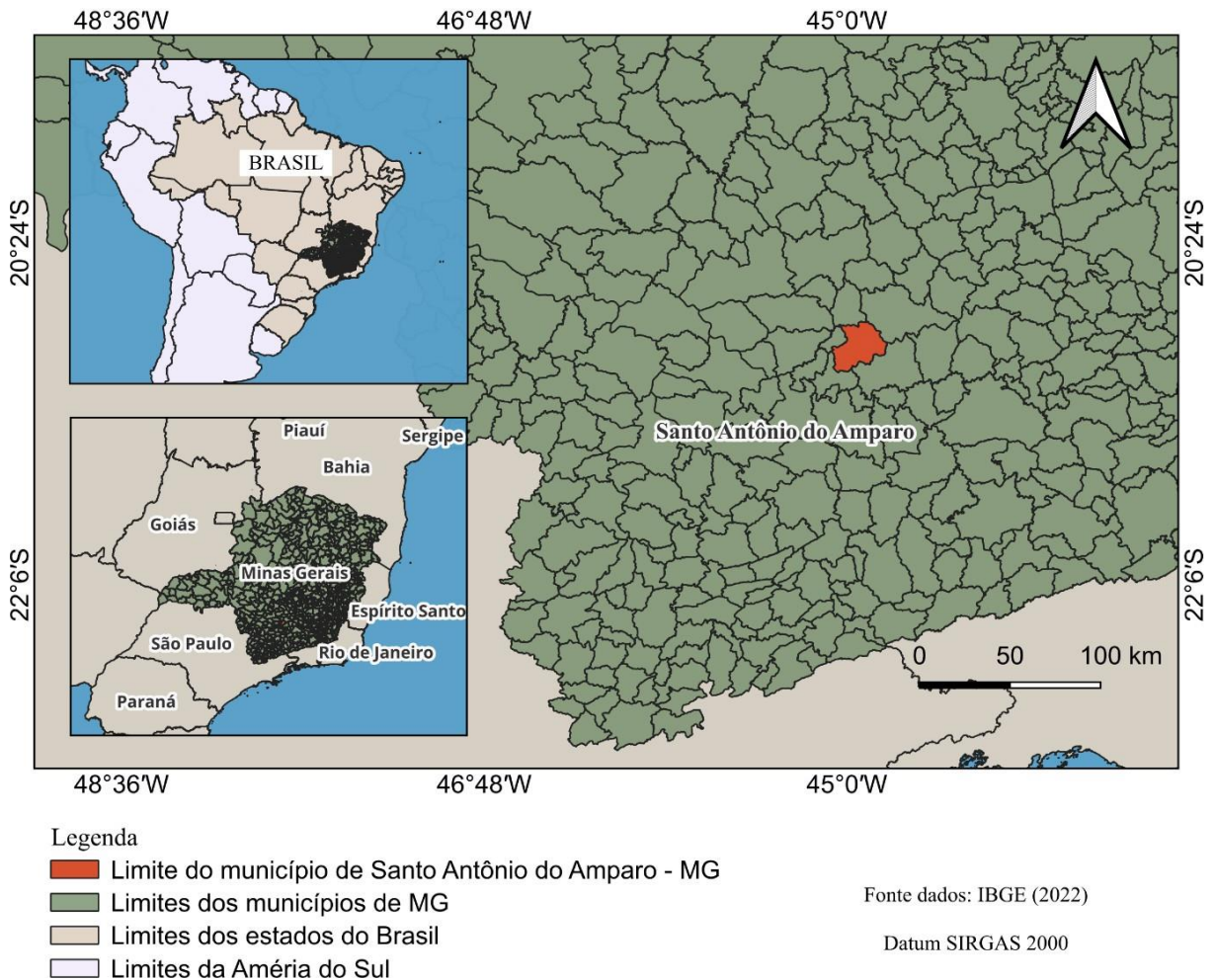
2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho faz parte do projeto multidisciplinar intitulado: “Biodiversidade do solo para o aumento da produção agrícola e florestal sustentável”, fomentado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG.

2.1 Área de estudo e delineamento amostral

O estudo foi realizado no município de Santo Antônio do Amparo (20°57'12.01”S 44°54'46.82”O), inserido na Mesorregião do Oeste de Minas Gerais (IBGE, 2023), Minas Gerais, Brasil (Figura 1), nas Fazendas Samambaia (Figura 2) e NKG (Figura 3). O clima da região é classificado como CWA - Clima Subtropical Úmido, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por invernos secos e verões amenos, com uma temperatura média de 20,7 °C (ALVARES *et al.*, 2013), e altitude de 1013 metros (IBGE, 2023). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Menezes *et al.*, 2021). A fitofisionomia da região é classificada como Floresta Atlântica Estacional Semidecídua (Veloso *et al.*, 1991), sendo pertencente ao domínio Mata Atlântica. Embora esteja em uma região de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, as Florestas Semidecíduas Atlânticas estão mais relacionadas, de acordo com a similaridade florística em níveis taxonômicos, com as Florestas Pluviais Atlânticas, quando comparadas à composição florística do Cerrado, que apresenta menor similaridade (Oliveira Filho; Fontes, 2006).

Figura 1 – Localização do município de Santo Antônio do Amparo, MG – Brasil.

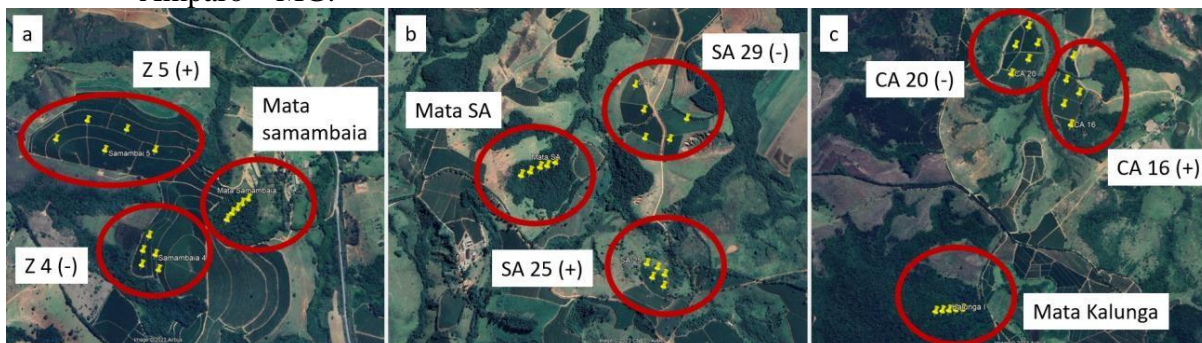


Legenda: Mapa com a localização geográfica do Brasil, o estado de Minas Gerais e o município de Santo Antônio do Amparo, onde foram realizadas as coletas da macrofauna do solo.

Fonte: Da autora (2024).

Os talhões de café amostrados são cultivados no sistema convencional a pleno sol, sem irrigação, com aplicação regular de fertilizantes químicos e calagem. O controle fitossanitário é realizado por meio de defensivos agrícolas sintéticos. Foram selecionados pares de talhões de café localizados nessas duas fazendas que fossem cultivados no mesmo tipo de solo e tivessem a mesma idade de plantio. Esses pares de cafés selecionados, embora pertencessem à mesma variedade de café, apresentavam produtividades diferentes, sendo um mais produtivo que o outro, classificados neste estudo como café de “maior (+)” e “menor (-)” produtividade.

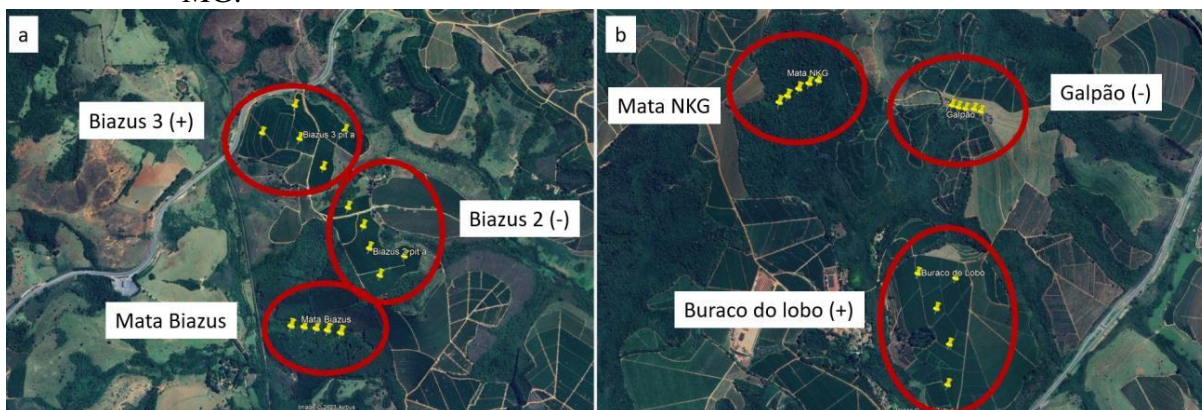
Figura 2 – Pontos de amostragens na Fazenda Samambaia, município de Santo Antônio do Amparo – MG.



Legenda: Áreas de amostragens realizadas no município de Santo Antônio do Amparo – MG, na Fazenda Samambaia - (a) café CA20, CA16 e Mata Kalunga, (b) café SA 29, SA 25 e Mata SA e (c) café Samambaia 5 e Samambaia 4 e Mata Samambaia.

Fonte: Google Earth (2023).

Figura 3 – Pontos de amostragens na Fazenda NKG, município de Santo Antônio do Amparo – MG.



Legenda: Áreas de amostragens realizadas na Fazenda NKG - (a) café Galpão, café Buraco do Lobo e Mata NKG e (b) café Biazus 2, Biazus 3 e Mata Biazus.

Fonte: Google Earth (2023).

Os talhões de café amostrados são cultivados com café *Coffea arabica L.* (café arábica), com diferentes variedades (Tabela 1). O histórico da produtividade dos talhões amostrados foi levantado junto às Fazendas Samambaia e Fazenda NKG (Tabela 1). A safra 2021/22 foi considerada ano de alta bienalidade e a safra de 2020/2021 considerada de baixa bienalidade (CONAB, 2022). Os pares de café Z5 e Z4, localizados na Fazenda Samambaia, a partir de 2021, passaram a ser avaliados em conjunto, sendo um único talhão, impossibilitando a separação entre maior e menor produtividade dos anos de 2021 e 2022 (Tabela 1).

Tabela 1: Produtividade dos últimos anos das fazendas NKG e Samambaia, Santo Antônio do Amparo, MG.

| Variedade | Fazenda | Lavoura | Área (ha) | Safra 21/22 (sacas/ha) | Safra 20/21 (sacas/ha) | Safra 19/20 (sacas/ha) | Média geral |
|----------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Catuai | NKG | Buraco Lobo (+) | 27,20 | 19,77 | 34,9 | - | 27,31 |
| Catuai | NKG | Galpão (-) | 1,58 | 23,28 | 19,4 | - | 21,32 |
| Acaia | NKG | Biazus 3 (+) | 35,12 | 11,14 | 19,58 | - | 15,36 |
| Acaia | NKG | Biazus 2 (-) | 20,60 | 7,90 | 17,85 | - | 12,87 |
| Catuai | Samambaia | Ca 16 (+) | 9,61 | 18 | 89 | - | 53,5 |
| Catuai | Samambaia | CA 20 (-) | 10,95 | 16 | 68 | - | 42,0 |
| Catucui | Samambaia | SA 25 (+) | 2,87 | 36 | 1 | - | 18,5 |
| Catucui | Samambaia | SA 29 (-) | 20,04 | 21 | 0 | - | 10,5 |
| Acaia | Samambaia | Z 5 (+) | 16 | - | - | 94,5 | 94,5 |
| Acaia | Samambaia | Z 4 (-) | 2,24 | - | - | 83,74 | 83,74 |

Legenda: Dados da variedade cultivada, área plantada e as produtividades referentes às safras 2020/2021 e 2021/2022 para os pares de cafés Buraco do Lobo (+) e Galpão (-), Biazus 3 (+) e Biazus 2 (-), CA 16 (+) e CA 20 (-) e SA 25 (+) e SA 29 (-). A produtividade foi obtida por meio da média de produtividade dos últimos dois anos. Os pares Z5 (+) e Z4 (-) foram obtidos as produtividades com base na safra 2019/2020 fornecida em sacas/ha. Símbolos representam: (+) = café de maior produtividade e (-) = café de menor produtividade.

Fonte: Fazendas Samambaia e NKG (2023).

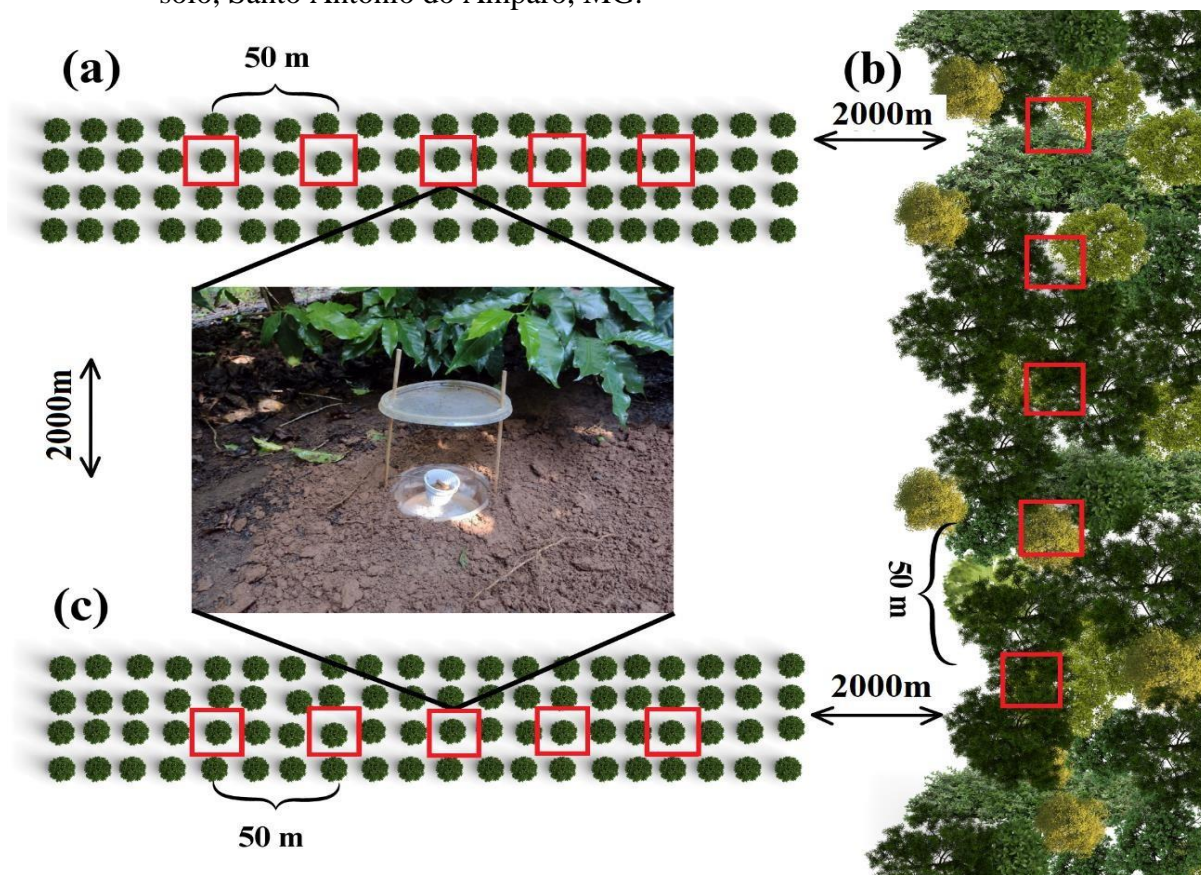
2.2 Coleta de mesofauna e macrofauna

Na fazenda Samambaia, foram selecionadas três áreas de estudo (Figura 2) e na fazenda NKG duas áreas (Figura 2). Em cada área de estudo, foram selecionadas, uma área amostral em um talhão de café de maior produtividade (sacas/hectare), uma área amostral em um talhão de café de menor produtividade (sacas/hectare) e uma área amostral de Mata Atlântica adjacente aos talhões de café amostrados (2 km), totalizando 15 áreas amostrais nas respectivas fazendas.

As coletas da mesofauna e macrofauna foram realizadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2022, período chuvoso da região. Nas florestas, as armadilhas foram dispostas em um transecto, nos talhões a distribuição foi aleatória, visando melhor representatividade do talhão do cafezal. Em cada área amostrada, foram instaladas cinco armadilhas. A distância mínima entre as armadilhas foi de 50 metros (Figura 4), e a distância entre as áreas amostradas foi de 2

km. Foram amostradas 15 áreas amostrais (10 cafés e 5 florestas), que resultaram em 15 amostras (Figuras 4 e 5), e um esforço amostral de 75 pitfalls, com 3600 horas ativas em campo. As armadilhas utilizadas foram do tipo pitfall, que consistem em um recipiente de plástico com 11 cm de altura por 19 cm de diâmetro, instalado com a borda no nível do solo. Dentro das armadilhas, foram adicionados aproximadamente 300 ml de solução salina com detergente. As armadilhas foram iscadas com 25 g. de fezes humanas, visando uma maior atratividade da armadilha, fazendo com que sejam aumentadas as possibilidades de captura. As pitfalls permaneceram em campo por um período de 48 horas. Embora tenha ocorrido uma tendência com a utilização das iscas, resultando numa maior captura de indivíduos da mesofauna e macrofauna do solo, essa tendência foi distribuída de forma padronizada para todas as armadilhas de pitfalls, que foram padrão em todas as 15 áreas amostrais desta coleta, não impedindo a obtenção de padrões que reflitam a condição do ambiente amostrado. Alguns grupos da fauna do solo são fortemente atraídos pelas iscas usadas, como a subfamília Scarabaeinae, que foram identificados até a classificação taxonômica de espécie Barbosa (2024). Uma tampa de plástico foi instalada sobre a armadilha pitfall com o auxílio de palitos de madeira para evitar a entrada de água, em caso de chuva (Figura 4).

Figura 4 – Delineamento amostral da coleta da mesofauna e macrofauna invertebrada do solo, Santo Antônio do Amparo, MG.



Legenda: Delineamento amostral da coleta da mesofauna e macrofauna invertebradas do solo, onde temos (a) uma área cultivada com café com maior produtividade (sacas/hectare), (b) um transecto em uma floresta de Mata Atlântica e (c) e uma área cultivada com café com menor produtividade (sacas/hectare). No centro da figura, a armadilha pitfall em campo.

Fonte: Da autora (2023).

2.3 Triagem e identificação da mesofauna e macrofauna

As amostras coletadas em cada armadilha pitfall foram armazenadas em saco plástico contendo álcool 70%, acompanhados com os dados de identificação de procedência. Inicialmente, essas amostras foram encaminhadas à Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG para a retirada dos besouros rola-bosta (Scarabaeidae: Scarabaeinae). Posteriormente, essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, localizada na Universidade Federal de Lavras - UFLA, MG, para serem submetidas ao processo de triagem da mesofauna e macrofauna do solo (Figura 5), com auxílio de estereomicroscópio com aumento de 40X. A identificação foi realizada no nível dos grandes grupos taxonômicos (De Aquino *et al.*, 2008), frequentemente utilizado para avaliar as comunidades de invertebrados do solo (Rousseau *et al.*, 2014; Vanolli *et al.*, 2023). As famílias de Coleoptera foram identificadas com o auxílio de chave dicotômica (Rafael *et al.*, 2012). Os

gêneros e morfoespécies de Araneae foram identificados pelo pesquisador e taxonomista Sr. Antônio Brescovit no Instituto Butantan - São Paulo.

Figura 5 – Processo inicial de triagem da mesofauna e macrofauna do solo, Santo Antônio do Amparo, MG.



Legenda: Processo inicial de triagem da mesofauna e macrofauna do solo, realizado com o auxílio de um estereomicroscópio.

Fonte: Da autora (2023).

2.4 Variáveis físico-químicas do solo

Para a análise físico-química do solo, foram coletadas amostras compostas de solo em cada unidade amostral do pitfall, nos talhões amostrados no café com menor e maior produtividade e nas florestas adjacentes a esses talhões de café, com o auxílio de um trado holandês. Cada amostra foi composta por cinco sub amostras, sendo uma sub amostra coletada dentro da projeção da copado café onde foi instalado o pitfall, e as outras quatro sub amostras, coletadas no pé de café, imediatamente ao lado da amostra central do pitfall. Essas cinco sub amostras foram homogeneizadas, formando uma única amostra composta e encaminhada para o Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA,

Minas Gerais, para serem analisadas a textura. A partir dessas amostras compostas, foram avaliados os teores de areia (2,0-0,02 mm), silte (0,02-0,002 mm) e argila (>0,002 mm) (Bouyoucos, 1962).

Para as análises químicas do solo, foram analisados os teores de matéria orgânica, o pH, os macronutrientes P, K, Ca, Na, S, Mg e os micronutrientes B, Fe, Zn, Mn, Cu, acidez trocável (H + Al), e Al. A capacidade de troca efetiva foi avaliada em pH 7,0 (T) e a matéria orgânica (MO) foi determinada por combustão úmida em dicromato de sódio e ácido sulfúrico (Walkley; Black, 1934). O pH do solo é determinado por potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção 1:1 (Mclean *et al.*, 1958). O fósforo, potássio, cobre, zinco e manganês foram determinados pelo método Mehlich-1 (Mehlich, 1953). O cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) foram determinados por cloreto de potássio (KCl) e determinados por espectrofotometria de absorção. O enxofre (S) e a soma de bases trocáveis (SB) foram extraídos com solução de fosfato de cálcio, onde foi determinado o teor de sulfato por turbidimetria com cloreto de bário (Hoefit; Walsh; Keeney, 1973). A acidez potencial (H+Al) foi determinada pelo extrator SMP (Shoemaker; Mclean; Pratt, 1961).

A densidade do solo foi avaliada por meio da média de três amostras compostas indeformadas coletadas em cada unidade amostral dos pitfalls. As amostras indeformadas do solo foram obtidas com anel volumétrico de volume conhecido, inserido na primeira camada do solo, até uma profundidade de 3,9 cm. O solo que ficou dentro do cilindro foi levado para o Laboratório da Física do Solo da Universidade Federal de Lavras e passou pelo processo de secagem em estufa a 105°C, por um período de 24 horas. Posteriormente, esse solo foi pesado para extrair o peso seco. A fórmula usada foi $D=ms/V$ (massa seca dividida pelo volume do anel).

2.5 Análises estatísticas

O ambiente estatístico R (v.4.1.2) foi usado para realizar as análises estatísticas e a plotagem de figuras. Para evitar o efeito da pseudoreplicação, as amostras de pitfall de cada área foram agrupadas, sendo então a área considerada como repetição. Modelos lineares foram estimados por mínimos quadrados generalizados (GLS) para avaliar o efeito do uso da terra sobre a estrutura da comunidade (abundância, riqueza e números de Hill (qD) de 1 a 2) da mesofauna e macrofauna do solo nos talhões de café de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes a esses cafezais, com o pacote *nlme* (Pinheiro; Bates, 2022). Os modelos foram inspecionados visualmente por meio de gráficos de resíduos para homogeneidade de

variância e teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Os dados foram transformados em raiz quadrada ou logarítmica quando necessário. Para avaliar a diversidade dos táxons da mesofauna e macrofauna e das famílias de Coleoptera e Araneae, foram utilizados os números de Hill, onde o valor atribuído ao “ q ” é a potência em que a abundância é elevada (Jost, 2006). O $q = 0$ é a riqueza propriamente dita, equivalente ao número de espécies totais; $q = 1$ considera a abundância de espécies típicas, numericamente idêntico ao exponencial do Índice Shannon; e $q = 2$ atribui mais peso à abundância de espécies dominantes, numericamente similar ao índice de Simpson de espécies (Chao; Jost, 2012).

Análise de variância (ANOVA) foi usada para testar a significância do modelo e os contrastes dos tratamentos foram avaliados com testes de Tukey usando o pacote *emmeans* (Lenth, 2023). Matrizes de dissimilaridade de AltGower foram usadas em uma análise de redundância baseada em distância (dbRDA), seguida de seleção de variáveis, para testar e visualizar mudanças na composição das comunidades estudadas entre os usos da terra. Os p -valores foram ajustados usando o procedimento de Benjamini-Hochberg (Benjamini; Hochberg, 1995).

A análise de partição de variância (VPA) foi utilizada para testar a contribuição do uso da terra e das variáveis do solo sobre a composição da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo. Para isso, primeiro foi realizada uma análise de componentes principais (PCA). Em seguida, a primeira componente (PC1: 56,93%) foi usada como *proxy* para representar as variáveis do solo. Todas as análises de composição foram realizadas usando o pacote *vegan* (Oksanen *et al.*, 2022). A análise de espécie indicadoras (ISA) foi aplicada para identificar táxons significativamente associados aos usos da terra por meio de reatribuição aleatória de grupos (9999 permutações) usando o pacote *indicspecies* (De Cáceres; Jansen; Dell, 2022; De Cáceres; Legendre, 2009). O escore IndVal é o produto da frequência relativa e da abundância relativamédia para um indicador dentro de um determinado habitat (Dufrene; Legendre, 1997). Uma espécie é considerada indicadora se seu IndVal é significativo ($p < 0,05$) e maior que 0,70 (Verdú; Numa; Hernández-Cuba, 2011).

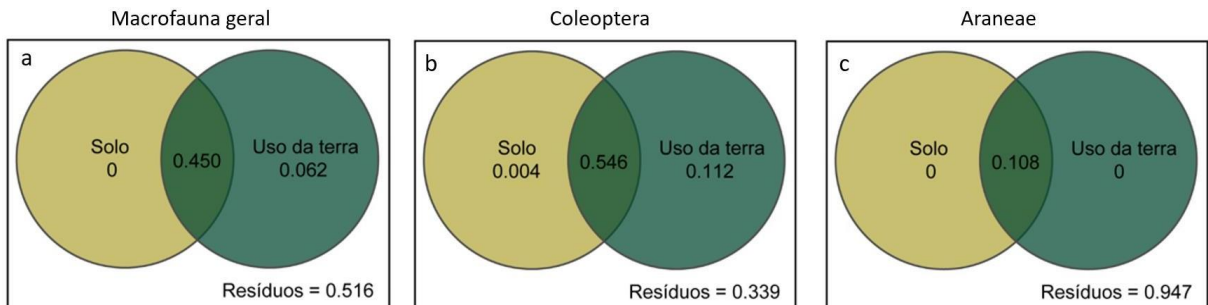
3 RESULTADOS

Foram amostrados nesse estudo o total de 36.646 (trinta e seis mil e seiscentos e quarenta e seis) indivíduos pertencentes à mesofauna e macrofauna do solo, sendo 3.924 (três mil, novecentos e vinte quatro) indivíduos (10,71%) amostrados nos talhões de maior produtividade, 3.858 (três mil oitocentos e cinquenta e oito) indivíduos (10,53%) amostrados em talhões de cafés de menor produtividade e 28.864 (vinte e oito mil e oitocentos e sessenta e quatro) indivíduos (78,76%) amostrados nas florestas adjacentes a esses cafezais inseridos no bioma Mata Atlântica (Tabela 1S). Esses indivíduos foram distribuídos em 24 táxons pertencentes à mesofauna e macrofauna invertebrada do solo (Acari, Araneae, Archaeognatha, Blattaria, Coleoptera, Collembola, Dermaptera, Diplopoda, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, *Formicidae*, Isopoda, Isoptera, Larva, Lepidoptera, Neuroptera, Opiliones, Orthoptera, Thysanoptera, Pseudoscorpiones, Gastropoda, Chilopoda, Scorpiones) (Tabela 1S). Nos cafezais de maior produtividade, foram amostrados 18 táxons, sendo as ordens Opiliones e Neuroptera exclusivas desses ambientes. Nos cafezais de menor produtividade foram amostrados 17 táxons, porém sem táxons exclusivos a esses cafezais. Nas florestas adjacentes a esses cafezais, foram amostrados 20 táxons, sendo Archaeognatha, Dermaptera, Isoptera, Pseudoscorpiones e Scorpiones encontrados apenas nas amostras referentes a essas florestas.

3.1 Análise de partição de variância (APV) da mesofauna e macrofauna

Para testar a contribuição das variáveis ambientais (solo) e da mudança do uso da terra (floresta natural para a monocultura de café) sobre a composição da comunidade da macrofauna do solo, foi realizada uma análise de partição de variância (APV). Os resultados da APV indicaram que o uso da terra exerce influência sobre as mudanças observadas na comunidade da macrofauna geral (Figura 6a) e para as famílias de Coleoptera (Figura 6b). As variáveis do solo, representadas pelas análises química e física, de forma isolada, tiveram pouca ou nenhuma contribuição para explicar as variações na composição da macrofauna geral e das famílias de Coleoptera e Araneae. Entretanto, em todos os casos, os resultados da APV mostraram uma contribuição compartilhada entre o uso da terra e as variáveis físico-químicas do solo para explicar as mudanças de composição de todas as comunidades amostradas. Para as famílias de Araneae, observou-se que as mudanças foram atribuídas ao efeito combinado das variáveis ambientais do solo e do uso da terra (Figura 6a, c).

Figura 6: Partição de variância da influência das variáveis ambientais e o uso da terra sobre a mesofauna e macrofauna do solo amostradas no município de Santo Antônio do Amparo – MG.



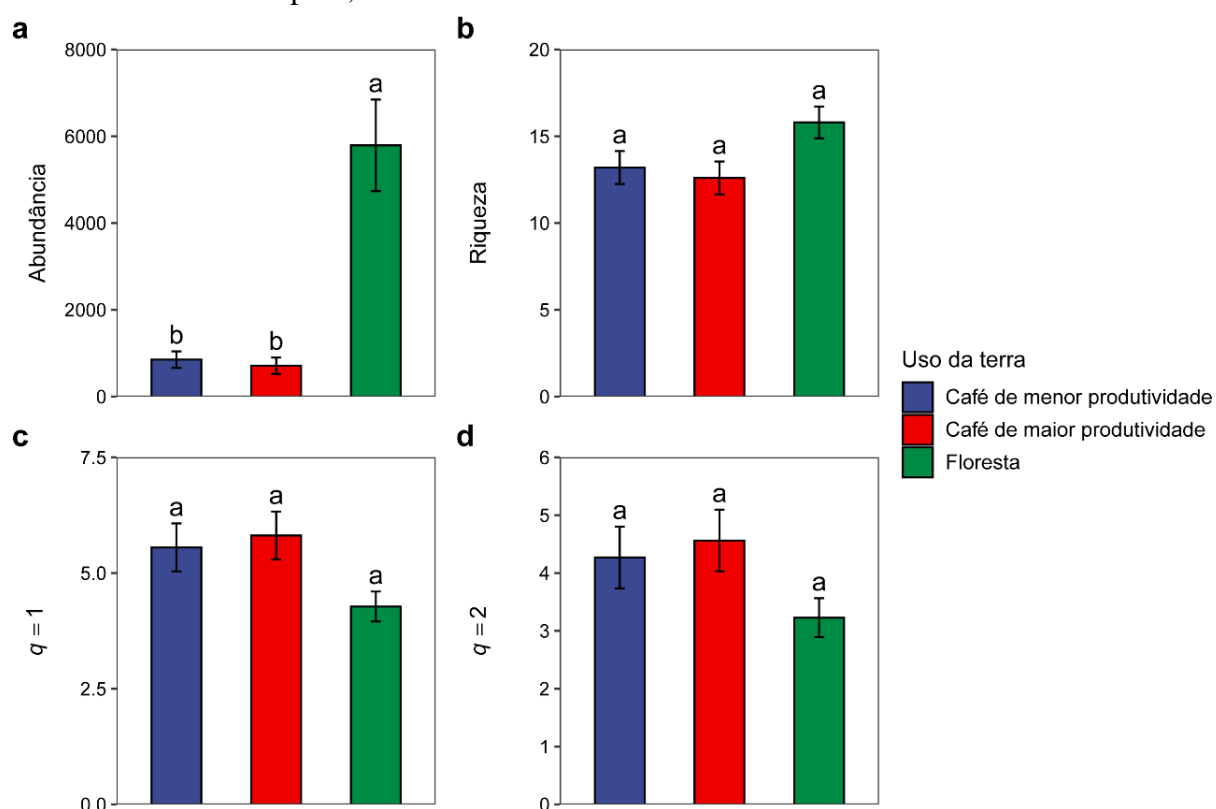
Legenda: Partição de variância da influência das variáveis ambientais (PC1, 56,93% da variação total explicada) e do uso da terra sobre a composição das comunidades de Coleoptera (a), Araneae (b) e macrofauna geral do solo (c).

Fonte: Da Autora (2024).

3.2 Estrutura da mesofauna e macrofauna nos cafezais e florestas

Não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros da comunidade (abundância, riqueza, $q = 1$ e $q = 2$) da mesofauna e macrofauna amostrada nos cafezais de maior e menor produtividade. Quando avaliamos os mesmos parâmetros da estrutura da comunidade entre os cafezais e as florestas adjacentes, observamos que a abundância da mesofauna e macrofauna foi em média 70% menor nos cafezais (Figura 7a). Entretanto, ao avaliarmos a riqueza e diversidade ($q = 1$ e $q = 2$) dos táxons amostrados, estatisticamente, as diferenças entre essas comunidades não foram significativas (Figura 7b, c e d).

Figura 7: Abundância, riqueza e diversidade ($q = 1$ e $q = 2$) da mesofauna e macrofauna do solo amostradas nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes aos cafezais, Santo Antônio do Amparo, MG.



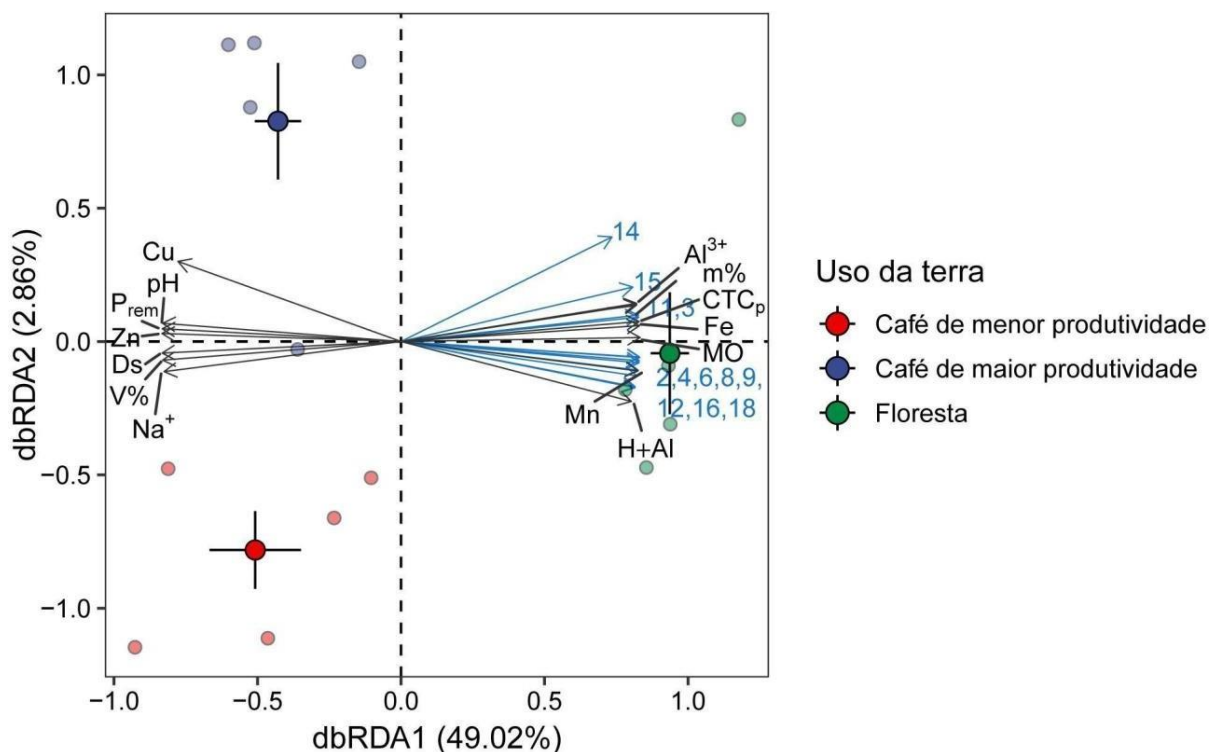
Legenda: Abundância (a), riqueza (b), número de Hill $q = 1$ (c) e $q = 2$ (d) da mesofauna e macrofauna do solo nos cafezais de menor produtividade, cafezais de maior produtividade e florestas adjacentes aos cafezais. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras de erro representam o erro-padrão da média.

Fonte: Da Autora (2024).

Os grupos mais representativos da mesofauna e macrofauna do solo foram: Formicidae (35,99%), Diptera (28,3%), Acari (14,53%), Coleoptera (10,03%), Collembola (5,99%), Blattaria (1,1%), Larva (0,99%), Gastropoda (0,82%), Hemiptera (0,70%), Araneae (0,49%), Isoptera (0,46%), Hymenoptera (0,37%) e demais grupos representam 0,56%. As florestas adjacentes tiveram maior abundância dos táxons quando comparadas aos cafezais, especialmente para Formicidae, Diptera, Acari, Coleoptera, Blattaria, Hemiptera, Araneae, Isoptera e Hymenoptera. No entanto, houve um padrão inverso observado para alguns táxons, que apresentaram aumento no número de indivíduos nos cafezais quando comparados às florestas adjacentes, como observado para Gastropoda, Collembola, Diplopoda, Chilopoda, Neuroptera e Thysanoptera (Tabela 1S).

Analisando a composição da mesofauna e macrofauna do solo, a análise dbRDA evidenciou um claro padrão de separação visual entre os cafezais de maior e menor produtividade e entre os cafezais e a floresta adjacente ($p < 0,05$) (Figura 8). Dentre a macrofauna, os táxons Araneae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Formicidae, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Larva, Lepidoptera e Pseudoescorpiones foram significativos em responder às mudanças do uso da terra entre os cafezais e as florestas adjacentes. Já a mesofauna não foi significativa estatisticamente para responder às mudanças do uso da terra e nem aos cafés de maior e menor produtividade. A densidade, pH, saturação por bases e fertilizantes inorgânicos foram agrupados de forma negativa com a macrofauna do solo (Figura 8). Estatisticamente, não foram observados táxons que fossem associados aos cafezais de maior e menor produtividade (Figura 8).

Figura 8: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) dos táxons da mesofauna e macrofauna amostrados em cafezais e florestas adjacentes no município de Santo Antônio do Amparo - MG.



Legenda: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) mostrando a relação entre as áreas amostradas em cafezais com maior e menor produtividade, baseadas na composição da mesofauna e macrofauna do solo e nas variáveis ambientais dos solos. As setas sólidas pretas representam os preditores ambientais significativamente associados à variação na composição da comunidade: Cobre (Cu), potencialhidrogeniônico (pH), fósforo remanescente (P_{rem}), zinco (Zn), saturação por bases (V%), Ds (densidade do solo) e sódio (Na⁺). As variáveis ambientais que foram correlacionadas às florestas foram alumínio (Al³⁺), ferro (Fe), capacidade de troca de cátions (CEC_p), matéria orgânica (MO), manganês (Mn). As setas azuis representam os seguintes táxons: 2, Araneae; 3, Blattaria; 4,

Coleoptera; 6, Dermaptera; 8, Diptera; 9, Formicidae; 11, Hemiptera; 12, Hymenoptera; 14, Isoptera; 15, Larva; 16, Lepidoptera e 18, Pseudoscorpiones.

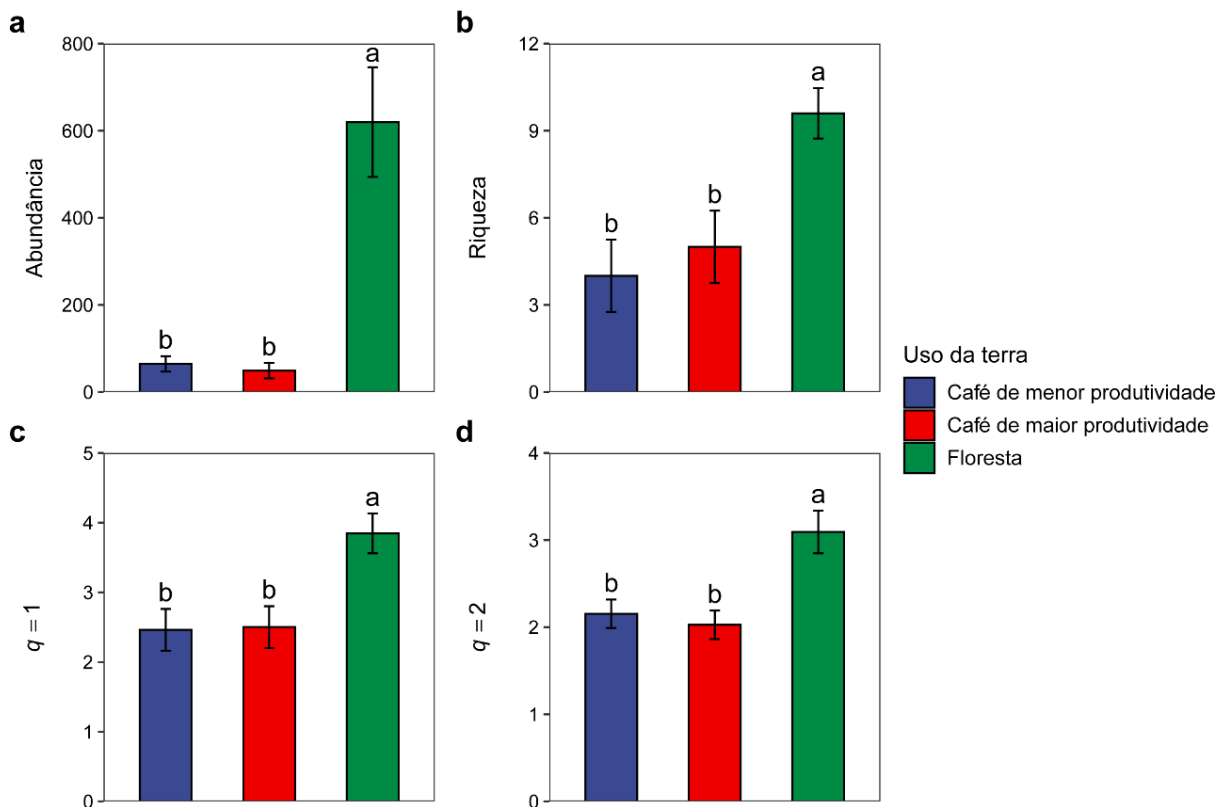
Fonte: Da Autora (2024).

3.3 Estrutura das famílias de Coleoptera nos cafezais e florestas

A classificação da ordem Coleoptera foi realizada até o nível taxonômico de família, com a identificação de 18 famílias de besouros. As famílias mais abundantes foram Scarabaeidae, Staphylinidae, Ptiliidae e Leiodidae, representando 95% dos coleópteros amostrados, tendo forte redução no número de indivíduos nos cafezais de maior e menor produtividade.

Não foram observadas diferenças significativas na abundância, riqueza e diversidade ($q = 1$ e $q = 2$) das famílias amostradas entre os cafezais de maior e menor produtividade (Figura 9). Porém, quando avaliamos a abundância, riqueza e diversidade das famílias entre os cafezais e as florestas adjacentes, observamos que a abundância, riqueza e diversidade ($q = 1$ e $q = 2$) foi estatisticamente significativa (Figura 9).

Figura 9: Abundância, riqueza e diversidade ($q = 1$ e $q = 2$) das famílias de Coleoptera amostradas nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes a esses cafezais, localizados no município de Santo Antônio do Amparo, MG.



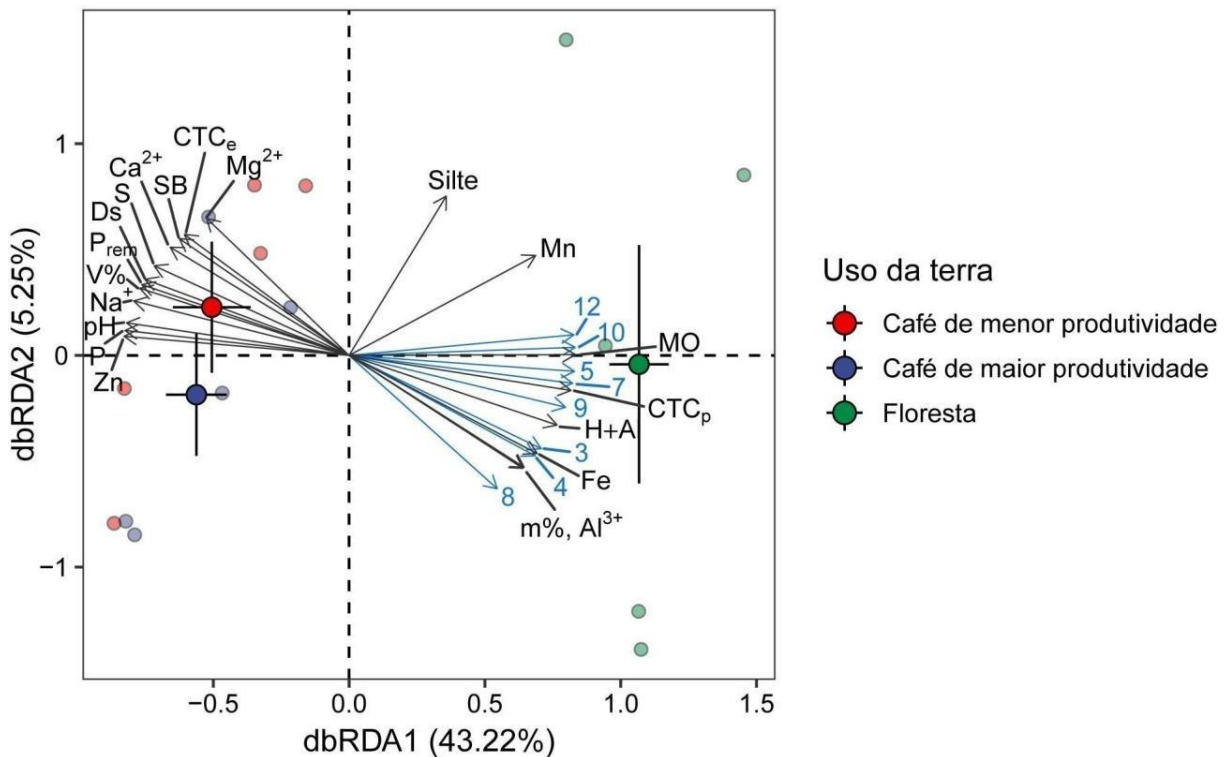
Legenda: Abundância (a), riqueza (b), número de Hill $q = 1$ (c) e $q = 2$ (d) das famílias de Coleoptera amostradas em cafés com maior produtividade, cafés com menor produtividade, e florestas adjacentes.

Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras de erro representam o erro-padrão da média.

Fonte: Da Autora (2024).

Analisando a composição das famílias de Coleoptera, a análise dbRDA evidenciou um claro padrão de separação entre os cafezais e as áreas de floresta adjacente (Figura 10). Tal distinção foi confirmada pela análise de dbRDA pareada (Tabela 2S). As variáveis ambientais que evidenciaram possíveis associações positivas com a floresta foram matéria orgânica, silte e alumínio. Essas variáveis foram correlacionadas de forma positiva com as famílias Chrysomelidae, Curculionidae, Histeridae, Leiodidae, Nitidulidae, Ptiliidae, Scarabaeidae e Staphylinidae. A densidade do solo, pH, CTCe, soma de bases e os nutrientes magnésio, cálcio, enxofre, fósforo remanescente, sódio, fósforo e zinco tiveram possíveis associações com os cafezais de maior e menor produtividade. Não foram observadas famílias que fossem associadas estatisticamente aos cafezais de maior e menor produtividade.

Figura 10: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) das famílias de Coleoptera amostradas em cafezais e florestas adjacentes no município de Santo Antônio do Amparo - MG.



Legenda: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) mostrando a relação entre as áreas amostradas em cafezais com maior e menor produtividade, baseadas na composição das famílias de coleoptera e as variáveis ambientais dos solos. As setas sólidas pretas representam os preditores ambientais significativamente associados à variação na composição da comunidade: Magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (BS), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e), enxofre (S), fósforo remanescente

(P_{rem}), Ca^{2+} (Cálcio), saturação por bases (V%), Ds (densidade do solo), sódio (Na^+), fósforo (P), potencial hidrogeniônico (pH) e zinco (Zn). As variáveis ambientais que foram correlacionadas às florestas foram silte, manganês (Mn), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CEC_p), acidez potencial (H+Al), ferro (Fe), alumínio (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m%). As setas azuis representam as seguintes famílias: 3, Chrysomelidae; 4, Curculionidae; 5, Histeridae; 7, Leiodidae; 8, Nitidulidae; 9, Ptiliidae; 10, Scarabaeidae; 12, Staphylinidae, que foram significativamente associadas às florestas.

Fonte: Da Autora (2024).

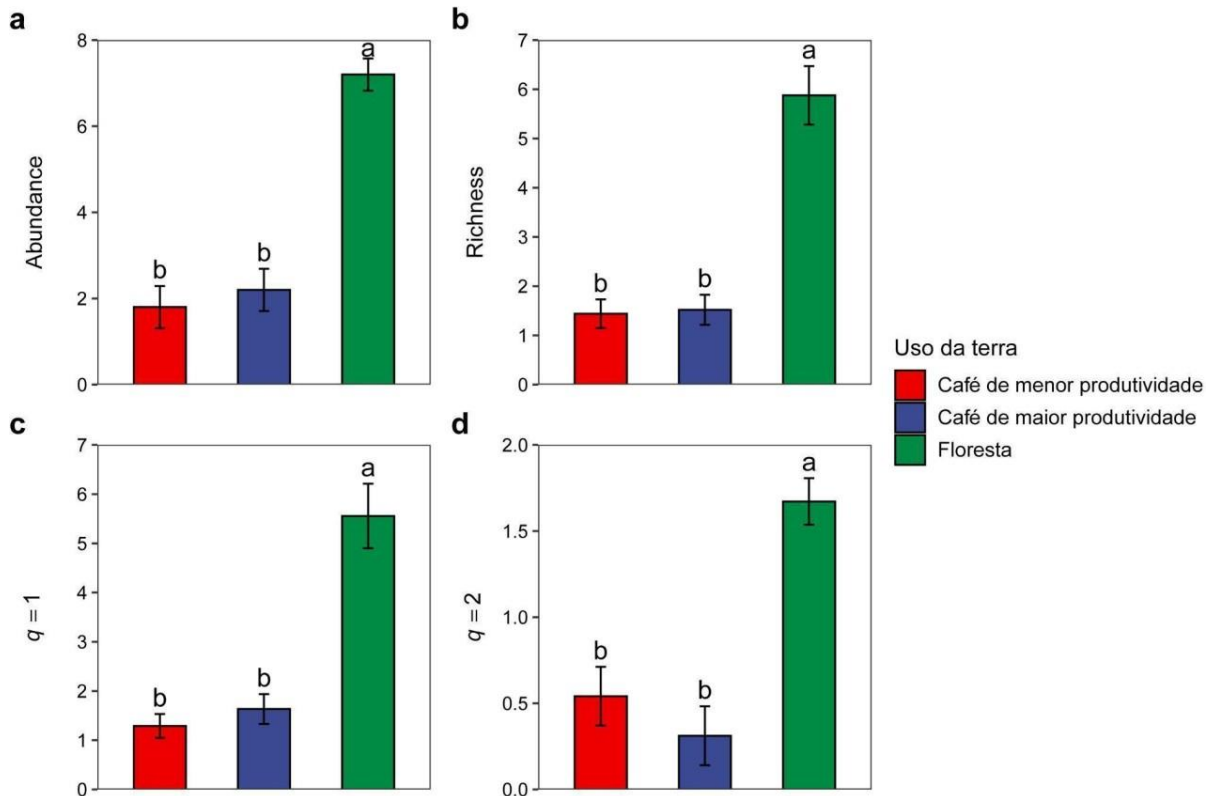
3.4 Estrutura dos gêneros de Araneae nos cafezais e florestas

As famílias de Araneae amostradas nesse trabalho foram Theridiidae (24,02%), Linyphiidae (20,67%), Lycosidae (19,55%), Corinnidae (6,7%), Ctenidae (6,7%), Pholcidae (4,47%), Mysmenidae (3,35%), Amaurobiidae (3,35%) e outras (11,17%), com menos de 3 indivíduos cada família (Araneidae, Gnaphosidae, Hahniidae, Ochyroceratidae, Oonopidae, Pycnothelidae, Salticidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae e Theraphosidae). Para a avaliação da abundância, foram considerados o nível taxonômico de família e contabilizados os adultos e jovens.

Para avaliar a diversidade das famílias de Araneae, foram considerados apenas os adultos, e esses foram identificados até a classificação taxonômica de gênero e morfoespécies, sendo identificados 13 gêneros e 26 morfoespécies, totalizando 57 indivíduos adultos. Os gêneros de Araneae amostrados nas florestas adjacentes aos cafezais foram Agyneta, Apopyllus, Camillina, Castianeira, Ciniflrella, Ctenus, Euryopsis, Ianduba, Matta, Mymena, Neotropis, Soesilarischius, Speocera, Sphecozone, Styopsis, Theridion, Thymoites, Tupigea, representando um total de 36 indivíduos adultos. Nos cafezais de maior produtividade, foram amostrados os gêneros Agyneta, Castianeira, Erigone, Euryopsis, Mymena, Sphecozone, Trochosa, representando um total de 11 indivíduos adultos. Nos cafezais de menor produtividade, foram amostrados os gêneros Agyneta, Coleosoma, Falconina e Trochosa, representando um total de 9 indivíduos adultos.

Quando avaliamos a diversidade dos gêneros das aranhas amostradas nos cafezais e nas florestas adjacentes, observamos que a abundância e diversidade (riqueza, $q = 1$ e $q = 2$) foram diferente entre os gêneros amostrados nos cafezais e nas florestas (Figura 11).

Figura 11: Abundância e diversidade de Araneae amostradas nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes aos cafezais, Santo Antônio do Amparo - MG.

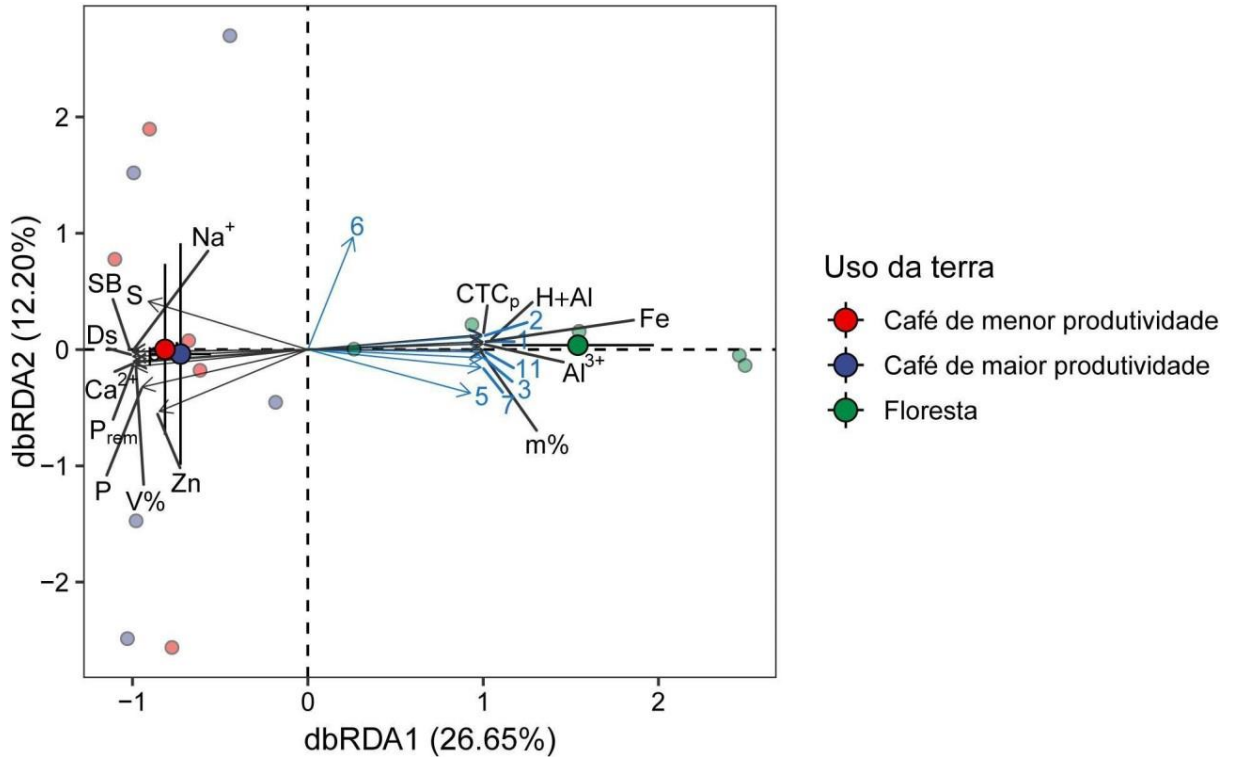


Legenda: Abundância e índices de diversidade (riqueza, número de Hill 1 e 2) para as morfoespécies de Araneae amostradas em cafezais com menor produtividade, maior produtividade e florestas adjacentes. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras de erro representam o erro-padrão da média.

Fonte: Da Autora (2024).

Analisando a composição das famílias de Araneae, a análise dbRDA evidenciou um claro padrão de separação entre os cafezais e as áreas de floresta adjacentes (Figura 12). Entretanto, tal distinção não foi observada entre os cafezais de maior e menor produtividade (Figura 12). As variáveis ambientais que foram associadas aos cafezais de maior e menor produtividade foram soma de bases, densidade do solo e nutrientes fósforo, enxofre, cálcio, zinco, fósforo remanescente e sódio. As variáveis ambientais associadas às florestas foram o ferro e o alumínio. As famílias Amaurobiidae, Corinnidae, Ctenidae, Linyphiidae, Lycosidae, Mysmenidae e Theridiidae apresentaram associações positivas às florestas. Não foram observadas famílias de Araneae associadas aos cafezais de maior e menor produtividade (Figura 12).

Figura 12: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) das famílias de Araneae amostradas em cafezais e florestas adjacentes no município de Santo Antônio do Amparo - MG.



Legenda: Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) mostrando a relação entre as áreas amostradas em cafezais com maior e menor produtividade, baseadas na composição das famílias de Araneae e as variáveis ambientais dos solos. As setas sólidas pretas representam os preditores ambientais significativamente associados à variação na composição da comunidade: enxofre (S), sódio (Na^+), saturação por bases (V%), soma de bases (BS), Ca^{2+} (cálcio) e ferro (Fe), capacidade de troca de cátions (CEC_p), acidez potencial (H+Al), saturação por alumínio (m%) e alumínio (Al^{3+}). As setas azuis representam as seguintes famílias: 1, Amaurobiidae; 2, Corinnidae; 3, Ctenidae; 5, Linyphiidae; 6, Lycosidae; 7, Mysmenidae; 11, Theridiidae.

Fonte: Da Autora (2024).

3.5 Espécies indicadoras da mesofauna e macrofauna

Dentre os grupos pertencentes à mesofauna e macrofauna, os táxons Araneae, Blattaria, Coleoptera, Diptera, Formicidae, Hymenoptera, Lepidoptera foram considerados indicadores das florestas adjacentes aos cafezais avaliados, com valor de $\text{IndVal} \geq 0,70$. Não foram encontrados táxons que fossem indicativos de cafezais e maior ou menor produtividade.

Tabela 2. Análise de espécies indicadoras (IndVal) para a mesofauna e macrofauna amostrada no município de Santo Antônio do Amparo - MG.

| Táxons | Uso da terra | Classificação | IndVal | <i>p</i> -valor |
|-------------|--------------|---------------|--------|-----------------|
| Araneae | Floresta | Indicadora | 0,93 | 0,0010 |
| Blattaria | Floresta | Indicadora | 0,85 | 0,0010 |
| Coleoptera | Floresta | Indicadora | 0,87 | 0,0010 |
| Diptera | Floresta | Indicadora | 0,91 | 0,0010 |
| Hymenoptera | Floresta | Indicadora | 0,88 | 0,0010 |
| Formicidae | Floresta | Indicadora | 0,82 | 0,0010 |
| Lepidoptera | Floresta | Indicadora | 0,70 | 0,0134 |

Legenda: Análise de espécies indicadoras para os táxons da mesofauna e macrofauna do solo amostrada nos cafezais de maior e menor produtividade e em florestas adjacentes a esses cafezais. Os táxons que tiveram IndVal significativos ($p < 0,05$) > a 0,70 foram considerados indicadores do sistema onde estão associados.

Fonte: Da Autora (2024).

4 DISCUSSÃO

4.1 Macrofauna do solo nos cafezais e florestas adjacentes

A conversão de áreas naturais em outros sistemas de uso da terra, incluindo monoculturas de café, uma prática comum em diversas regiões, exerce impacto sobre a estrutura das comunidades dos invertebrados do solo (Pimentel *et al.*, 2006; Tetteh e Amos, 2024). Essas comunidades estão presentes em cafezais convencionais ou orgânicos, cultivados a pleno sol ou orgânicos (Suárez *et al.*, 2019), portanto úteis para detectar alterações em sistemas cafeeiros. Nosso estudo, realizado em cafezais e florestas adjacentes da Mata Atlântica, revelou que a substituição da cobertura vegetal nativa por plantações de café resulta em uma significativa alteração na composição da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo, sendo que as áreas de café de maior e menor produtividade apresentam diferentes composições de comunidades. Essa alteração na comunidade do solo pode comprometer a ciclagem de nutrientes, a qualidade dos solos e consequentemente a sustentabilidade dos agroecossistemas cafeeiros.

Os invertebrados são importantes componentes do solo e regulam vários processos nesse substrato (Brussard, 1998), sendo fundamentais para a produção agrícola sustentável a longo prazo. Os cafezais, que originalmente eram produzidos pelo modelo sombreado, são importantes para manter a biodiversidade, inclusive de artrópodes, sendo considerado refúgio (Perfecto *et al.*, 1996; Deloya *et al.*, 2008). Os cafés sombreados que atuavam melhorando a riqueza e diversidade da macrofauna, ou aumento da abundância (Aquino *et al.*, 2008; Suárez *et al.*, 2019), além de garantir melhorias na qualidade física, aumento no teor de matéria orgânica (Oliveira *et al.*, 2016), foram ao longo do tempo substituídos pelo cultivo a pleno sol. O presente estudo investigou pela primeira vez a estrutura da comunidade de mesofauna e macrofauna em áreas de café de maior e menor produtividade, cultivados a pleno sol, utilizando áreas de florestas adjacentes como sistema de referência. Avaliando a mesofauna e macrofauna por meio de classificações taxonômicas maiores, como ordem, podemos observar que as composições das comunidades diferem entre os cafés de menor e maior produtividade e das florestas (Figura 8). No entanto, quando consideramos níveis taxonômicos menores, como famílias de Coleoptera e gêneros de Araneae, não ocorre essa diferença entre os cafezais de maior e menor produtividade (Figura 10 e 12). Lugo, Ibañez, Lavelle, 2024 relataram que classificações em grandes grupos

taxonômicos, como ordem, podem ser melhores indicadores de funções do solo devido à redundância funcional encontrada dentro desses grandes grupos taxonômicos, ou seja, dentro de uma ordem podem ser encontradas diferentes famílias, gêneros e espécies exercendo funções semelhantes no solo.

As variáveis físico-químicas do solo foram usadas como preditoras das mudanças na composição da comunidade da mesofauna e macrofauna, porém a análise de partição da variância conseguiu detectar a contribuição dessas variáveis de maneira isolada (Figura 6a). Entretanto, observou-se que o efeito compartilhado entre variáveis físico-químicas e o uso da terra (45%) foi mais expressivo em determinar as mudanças na composição da comunidade da mesofauna e macrofauna do que os fatores isolados. Dessa forma, respondendo à segunda hipótese deste estudo, as variáveis físico-químicas do solo, influenciaram a composição da comunidade da macrofauna do solo dessas áreas, de forma compartilhada com a mudança do uso da terra, corroborando com o trabalho de Karanja et al. (2009), que encontraram correlações positivas entre alguns grupos da macrofauna e as variáveis químicas do solo. Esses resultados podem indicar que o efeito das variáveis do solo sobre a comunidade seja um reflexo do efeito da mudança de uso da terra nas variáveis do solo, ao invés do efeito direto dessas variáveis sobre a comunidade, com exceção para os Coleoptera (Figura 6b). Apesar disto, há relato de relação direta no uso de fertilizantes sobre a macrofauna, causado pela aplicação do nitrato de amônio na cultura do milho (Tauro *et al.*, 2021) e tomate (Traore *et al.*, 2022).

Os nutrientes cobre, fósforo remanescente, zinco, sódio, assim como a soma de bases e o pH elevado do solo, foram agrupados entre os cafezais de maior e menor produtividade (Figura 8), e podem ser explicados pelo manejo intensivo nesses cafezais. A densidade do solo foi agrupada entre os cafezais de maior e menor produtividade. Blattaria e Isoptera estão associados a ambientes que possuem baixa densidade do solo (Menta; Remelli, 2020). A elevada densidade do solo agrupada junto aos cafezais na dbRDA (Figura 8), pode ser atribuída à entrada de implementos agrícolas usados no manejo intensivo dos cafezais, resultando na maior densidade dos solos desses cafezais em relação à floresta nativa, e consequentemente contribuindo para a menor abundância da mesofauna e macrofauna nos cafezais avaliados (Figura 7). Nosso estudo não encontrou indivíduos de cupins (Isoptera) nos cafezais avaliados (Tabela 1S). Tauro *et al.*, 2024, avaliando a resposta da macrofauna diante do manejo da fertilidade do solo na monocultura do milho no Zimbabué, relataram a diminuição na abundância e supressão parcial ou total da macrofauna, principalmente em Isoptera, diante da aplicação de nitrato de amônio. As lavouras amostradas nesse estudo recebem regularmente a aplicação de fertilizantes nitrogenados, que provavelmente estão impactando na abundância de cupins nessas lavouras.

O ferro, alumínio e manganês, assim como a CTCp, foram agrupados próximos às florestas e refletem a condição natural dos solos tropicais, sendo esses oligotróficos (Ricklefs, 2013), ou seja, de baixa fertilidade natural e ricos em alumínio (Sanchez, 2019). A matéria orgânica foi positivamente agrupada com a floresta, e esta, esteve igualmente associada com a comunidade da macrofauna (Figura 6). Vários desses táxons se alimentam ou nidificam na matéria orgânica do solo, encontrada em maior quantidade no ambiente de floresta (Figura 8), e alguns são favorecidos em ambientes úmidos, como Blattaria, Diptera e Isoptera.

A menor abundância da maioria das comunidades da mesofauna e macrofauna do solo, associadas estatisticamente aos cafezais (Figura 7a), pode ser atribuída, à mudança no uso da terra para o monocultivo do café (Figura 6a). Partindo do princípio de que a densidade da macrofauna é impulsionada pela cobertura natural do solo e pelas condições climáticas que ele oferece (Lavelle *et al.*, 2022), na monocultura tem-se a limitação de nichos ecológicos e recursos como alimento e abrigo para esses táxons. Estando de acordo com outros estudos (Da Silva, *et al.*, 2020; Tetteh; Amos, 2024), que observaram reduções nas comunidades de invertebrados do solo e atribuíram a mudanças no uso da terra. Portanto, quando Perfecto *et al.*, 1996 relatam que os cafezais sombreados são refúgios, e a mudança para o sistema de pleno sol pode levar à perda dessas áreas como refúgios de biodiversidade, nosso trabalho pode estar corroborando com estes autores.

A diversidade da mesofauna e macrofauna do solo, avaliada por meio da riqueza e do número de Hill $q = 1$ e $q = 2$, não foi diferente entre os cafezais e as florestas adjacentes. Essa mesma tendência foi observada por Da Silva *et al.*, 2020, onde os autores avaliaram mata conservada, mata impactada e cultivo de café convencional no município de Ouro Fino – MG, no bioma Mata Atlântica, por meio da metodologia de pitfall e TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility). Os referidos autores verificaram que a riqueza e diversidade não diferiram entre matas e cafés, no entanto, por meio da metodologia TSBF, que consiste em coleta de monólitos de solo, a mata conservada teve maior riqueza e diversidade máxima comparada ao cultivo de café convencional e à mata impactada. Esses autores atribuíram a menor riqueza de fauna do solo, verificada por meio da metodologia TSBF, à intensidade do uso da terra causada pela intervenção antrópica (Baretta *et al.*, 2010; Da Rosa *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2020). A armadilha de pitfall captura a fauna que está se movimentando sobre o perfil do solo (Baretta *et al.*, 2007; Velasquez *et al.*, 2007). No entanto, essa técnica dificulta a amostragem de organismos com baixa capacidade de locomoção na superfície, como minhocas e larvas, que são melhor amostrados pelo método de monólito (TSBF), também conhecida como macrofauna hipogeica ou endogeica (Vanolli *et al.*, 2023). O pitfall captura a macrofauna epigeica, e essa

apresentou maiores magnitudes de respostas à mudança no uso da terra do que a fauna edáfica amostrada por meio do monólito em cultura semi-perene (cana-de-açúcar), pastagens e floresta nativa (Vanolli et al., 2023). Lammel *et al.*, 2015, avaliando a fauna do solo com diferentes sistemas de cultivo de café (convencional, orgânico e consorciado) na Mata Atlântica, por meio da metodologia do pitfall e monólito, observaram que a riqueza e os índices de diversidade não foram suficientes para separar os manejos avaliados. Os autores observaram, ainda, que o pitfall foi mais confiável devido à maior reprodutibilidade e menor desvio padrão dos dados.

Outra possível explicação para que a riqueza e diversidade da mesofauna e macrofauna geral amostrada não tenham apresentado, estatisticamente, diferenças significativas entre as comunidades amostradas nos cafezais e as florestas adjacentes pode estar na influência que os cafezais estão exercendo nas comunidades das florestas adjacentes. Barlow *et al.*, 2016, avaliaramos distúrbios antrópicos sofridos pelas florestas tropicais e constataram que, mesmo que os proprietários mantenham 80% da cobertura florestal primária em suas propriedades, estas irão reter apenas 46-61% do seu potencial de conservação, perdendo espécies de importância funcional e de conservação. As florestas adjacentes aos cafezais estão inseridas em uma paisagem com fragmentos de florestas envoltos por monocultura ou pastagens. Esses fragmentos estão sujeitos ao efeito de borda e isolamento florestal, o que pode justificar a ausência de diferenças na riqueza e diversidade da macrofauna do solo nos cafezais e florestas adjacentes.

A maior abundância da mesofauna e macrofauna amostrada nas áreas de floresta, comparada com as áreas de café (Figura 7a), foi devido, especialmente, às formigas, que são dominantes na maioria dos sistemas terrestres (Wilson, 1987). São consagradas como indicadores de mudanças de uso da terra (Solar *et al.*, 2016; Eisawi *et al.*, 2022), respondendo às variações na estrutura do ambiente (Carvalho *et al.*, 2020). Neste estudo, a abundância das formigas representou aproximadamente 31% de todos os indivíduos da mesofauna e macrofauna coletados. As formigas são insetos sociais, o que justifica sua dominância nos diferentes ecossistemas, principalmente em florestas tropicais (Hölldobler; Wilson, 1990). São cosmopolitas tropical e subtropical, estando presente na maioria dos ecossistemas, mas com maior riqueza e diversidade nas florestas tropicais, onde são encontradas em todos os estratos com alguma matéria orgânica acumulada (Grandcolas, 1994; Pellens et al., 2011). Das formigas amostradas neste trabalho, 86,37% foram amostradas na floresta (Tabela 1S). A diversidade e densidade de formigas é influenciada pela complexidade da vegetação (Schmidt; Ribas; Schoederer, 2013), o que pode justificar a maior abundância nas florestas adjacentes, que apresentam uma maior complexidade estrutural quando comparadas a monocultura dos

cafezais. A redução da abundância desses invertebrados nos cafezais pode ser atribuída ao manejo intensivo adotado nesses agroecossistemas (Philpott; Forter, 2005), o que pode comprometer serviços ecossistêmicos como o controle biológico de pragas do café realizado pelas formigas. *Solenopsis picea* e *Crematogaster crinosa* realizam o controle biológico por meio da predação de *Hypothenemus hampei*, conhecida como broca do café (Constantino-Chuaire *et al.*, 2022), uma das principais pragas do café (Johnson *et al.*, 2020). As formigas predadoras são as principais fontes de mortalidade de ovos, larvas e pupas de *Leucoptera coffeella*, conhecido como bicho mineiro, que forma minas nas folhas do cafeeiro, levando à desfolha, quando em alta intensidade, considerada uma das principais pragas da cafeicultura brasileira (Gallo *et al.*, 2002). Apesar desses benefícios, algumas espécies podem causar efeitos drásticos ou mesmo sutis em cafezais por meio da herbivoria. Como exemplo, a herbivoria realizada por formigas da espécie *Atta cephalotes*, considerada uma praga nos cafezais cultivados a pleno sol, foi baixa no trabalho de García-Cárdenas *et al.*, 2022. Os autores relataram, ainda, um aparente efeito compensatório no aumento da produção de frutos à medida que observaram aumento na herbivoria provocada por essas formigas.

O segundo táxon mais abundante foi Diptera. Esses insetos podem ter sido encontrados em maior abundância devido ao hábito de alimentação e nidificação em excrementos (D'arcy – Burt; Blackshaw, 1991). Possuem alta capacidade de dispersão e são eficientes na localização de recursos (Prado; Guimarães; Linhares, 1982). Os dipteros adultos não habitam exclusivamente no solo, porém algumas espécies são braquípteros, ou seja, não voam, possuindo mobilidade reduzida, vivendo no solo ou sobre a vegetação (Menta, Remelli, 2020). As armadilhas de pitfall, usadas nas coleções da mesofauna e macrofauna do solo, foram iscadas com fezes humanas, podendo ter sido usadas pelos dipteros para realizar a postura de seus ovos e sendo capturados nas armadilhas. Porém, essa tendência de amostragem foi distribuída de forma homogênea para todas as armadilhas. Dos fatores ambientais que influenciam a distribuição dos dípteros, podemos destacar a entrada de matéria orgânica morta e umidade do solo (Frouz, 1999), encontrados em maior abundância na floresta adjacente. Esses fatores podem ter sido um fator limitante para esses organismos, justificando a baixa abundância desse táxon nos cafezais quando comparados à floresta adjacente. Desta forma, alguns pilares são necessários para a sobrevivência da macrofauna do solo, como umidade, recursos alimentares diversificados, espaço e abrigo (Tauro *et al.*, 2021).

A presença de predadores como aranhas e tesourinhas (Dermaptera) pode ser interpretada como um indicativo de diversidade ambiental. Representam os organismos de topo

da cadeia trófica, exercendo influência sobre as populações dos demais táxons. São recorrentes em ambientes com diversidade de nichos ecológicos para a captura de suas presas. Franco *et al.*, 2016, avaliando a macrofauna em pastagens, cana-de-açúcar e floresta nativa, observaram esse mesmo padrão de distribuição, onde níveis tróficos mais elevados eram abundantes nas florestas. Esses organismos se locomovem pelo ambiente, realizando a busca ativa e assim ficando expostos a possíveis agentes de contaminação como os defensivos agrícolas (Barriston *et al.*, 2014), o que pode estar contribuindo para a baixa abundância desses organismos nos cafezais avaliados.

Blattaria, Isoptera, são detritívoros, associados a ambientes úmidos e com abundância de matéria orgânica, uma vez que utilizam como recurso alimentar e nidificação. A matéria orgânica do solo foi relacionada com as florestas adjacentes aos cafezais e teve relação negativa com os cafezais (Figura 8). Assim como os nutrientes na Lei do Mínimo de Liebig, o recurso orgânico foi comparado como um fator limitante para a sobrevivência e permanência da macrofauna do solo em um experimento que avaliou a resposta da macrofauna diante do manejo da fertilidade na monocultura do milho no Zimbabué (Tauro *et al.*, 2021).

4.2 Famílias de Coleoptera em cafezais e florestas adjacentes

Os coleópteros são um dos grupos mais numerosos em trabalhos que estudam a macrofauna (Oliveira *et al.*, 2016; Rousseau *et al.*, 2022), com ampla diversidade taxonômica e de grupos tróficos, justificando a identificação e classificação em nível taxonômico menor, como família. A estrutura das famílias de Coleoptera foi diferente quando comparados os cafezais com as florestas adjacentes, o que não ocorreu entre os cafés de maior e menor produtividade (Figura 10). Essa diferença foi observada por meio da abundância (Figura 9a), riqueza (Figura 9b) e diversidade (Figura 9c e d) das famílias amostradas nos cafezais e florestas adjacentes. Entre os coleópteros, Scarabaeidae, Staphylinidae, Ptiliidae e Leiodidae foram as famílias mais abundantes em número de indivíduos coletados na floresta (representando 96,5% do total de coleópteros), o que justifica sua elevada dominância nas florestas ($q = 2$) (Figura 9d). Deloya *et al.*, 2008, avaliando a diversidade das famílias de Coleoptera em café cultivado a pleno sol, café sombreado e floresta montanhosa no México, encontraram resultados similares em abundância dessas mesmas famílias.

A família Scarabaeidae foi a mais abundante dentre os coleópteros, representando 84% dos indivíduos amostrados nesse estudo (Tabela 1S). Foram utilizadas fezes humanas como

iscas (Figura 4), o que influenciou na captura das espécies da subfamília Scarabaeinae, pertencente à família Scarabaeidae (Filgueiras *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2011). Scarabaeidae são extremamente diversificadas, com indivíduos que se alimentam de excrementos, cadáveres, fungos, vegetação, pólen, frutos ou raízes (Rafael *et al.*, 2024). São associadas principalmente a ambientes florestais (Nichols *et al.*, 2008), enquanto outras espécies de Scarabaeidae são herbívoras. As florestas conseguem abrigar uma quantidade maior de mamíferos onívoros, herbívoros e carnívoros, quando comparados a monocultura de café. Os excrementos desses mamíferos são utilizados como recursos para os escarabeíneos. As florestas possuem maior diversidade de vegetação, raízes e fungos, que podem estar servindo de recursos para este grupo. Desta forma, podemos justificar a maior abundância (Figura 9a), riqueza (Figura 9b) e diversidade (Figura 9c e d) de coleópteros nas florestas.

A segunda família mais abundante, pertencente à ordem Coleoptera, observada nesse estudo, foi Staphylinidae (Tabela 1S), o que já foi relatado por outros autores (Hopp *et al.*, 2020; Marinoni; Ganho, 2003). Os estafilínídeos são bastante sensíveis à mudança no uso da terra, corroborando com nossos resultados que revelaram uma maior contribuição da mudança no uso da terra em explicar as mudanças na comunidade de coleópteros (Figura 6b). São associados às florestas (Pompeo *et al.*, 2016), sendo considerados como bioindicador de ambientes sob perturbação antrópica (Méndez-Rojas *et al.*, 2022). São afetados por áreas abertas, pois são predadores de hábitos generalistas e especialistas, micófagos ou saprófagos (Rafael *et al.*, 2024), o que pode justificar a baixa concentração desses indivíduos nos monocultivos de café a pleno solo que possuem um ambiente homogêneo comparado à floresta. Essa redução da abundância de estafilínídeos da floresta para a monocultura de café a pleno solo também foi observada em agroecossistemas cafeeiros cultivados nos Andes colombianos (Méndez-Rojas *et al.*, 2022).

A terceira família mais abundante foi Ptiliidae, com 99% dos indivíduos amostrados nas florestas (Tabela 1S), são besouros fungívoros (Darby; Chaboo, 2015). Possuem tamanho diminuto, vivendo em matéria orgânica em decomposição, onde se alimentam de esporos e hifas de fungos, assim como outras partículas orgânicas, estando relacionados a ambientes úmidos ou em ninhos de formigas ou cupins (Rafael *et al.*, 2024). A vegetação da floresta contribui para maior umidade e menor luminosidade, favorecendo a proliferação de fungos, usados como recurso alimentar para essa família (Marinoni; Ganho, 2003). Leiodidae foi a quarta família mais abundante, com 98% dos indivíduos amostrados nas florestas (Tabela 1S). São saprófagos ou micófagos, se alimentando dos mais variados tipos de matéria orgânica em decomposição, como serrapilheira, fungos apodrecidos e excrementos, estando associados a

áreas florestadas (Rafael *et al.*, 2024). As famílias Staphylinidae, Ptiliidae e Leiodidae foram significativamente abundantes na floresta de Mata Atlântica, quando comparadas a pastagens degradadas no estado de Santa Catarina, sul do Brasil (Arenhardt; Vitorino; Martins, 2021), concordando com nossos achados.

Das famílias de Coleoptera amostradas nesse estudo, todas foram associadas às florestas (Figura 10). Essas famílias podem estar sendo influenciadas pelas atividades antrópicas, observadas por meio do manejo intensivo nesses cafezais com pH elevado, macro e micronutrientes, assim como a soma de bases e a densidade elevada desses solos (Figura 10). A matéria orgânica foi associada de forma positiva com a floresta, assim como as famílias de coleópteros, sendo essa, uma variável química do solo importante para manter ou recuperar a densidade de coleópteros (Hopp *et al.*, 2010). Esses invertebrados do solo são dependentes de umidade, matéria orgânica e complexidade estrutural das florestas, que favorecem a sua maior abundância, riqueza e diversidade. Os cafezais não formam um dossel como a floresta, sendo sujeitos a maiores variações microclimáticas que podem estar contribuindo para alteração da estrutura da comunidade de coleópteros nesses cafezais, comparados às florestas adjacentes.

4.4 Gêneros de Araneae em cafezais e florestas adjacentes

As aranhas são abundantes em ambientes naturais e cultivados (García-García *et al.*, 2023), sendo consideradas verdadeiros predadores, se alimentando de diversos táxons de invertebrados e vertebrados (Pekás; Toft *et al.*, 2015), podendo ser de hábitos generalistas ou especialistas. Theridiidae, Linyphiidae, Pholcidae, Mysmenidae e Amaurobiidae são fiandeiras (construtoras) de teia, sendo comumente associadas à cobertura arbórea, enquanto Lycosidae, Ctenidae e Corinnidae são corredoras noturnas do solo (Dias *et al.*, 2010). Grupos de espécies que exploram a mesma classe de recursos do ambiente é a definição clássica de guildas, proposta por Root (1967), sendo essas, úteis para a determinação com base em nível taxonômico de família (Uetz; Halaj; Cady, 1999). Dessa forma, podemos inferir que foram amostradas duas das principais guildas das aranhas, sendo um indicativo da diversidade de aranhas nessas florestas com diferentes tipos de habitats para essas guildas (Cardoso *et al.*, 2004; Do Prado; Baptista, 2023).

A abundância, riqueza e diversidade das famílias de Araneae foi significativamente maior nas florestas quando comparada aos cafezais, porém essa diferença não foi observada entre os cafés de maior e menor produtividade (Figura 11). Possivelmente, essa similaridade

das aranhas encontradas nos cafezais de maior e menor produtividade seja atribuída à baixa amostragem de indivíduos nesses cafezais, que foram respectivamente, 11 indivíduos e 9 indivíduos adultos. Da Silva *et al.*, 2020, avaliaram a fauna do solo em mata conservada, impactada e cafezais por meio da armadilha de pitfall e monólito. Os autores indicaram Araneae como um grupo fortemente impactado pelo uso e manejo do solo, destacando-o como bioindicador da qualidade do solo, o que corrobora com nossos resultados que atribuíram um valor de IndVal de 0,93, sendo associadas às florestas adjacentes (Tabela 2).

Com a mudança do uso da terra para a monocultura do café, tem-se a modificação do habitat para um ambiente com poucos locais para estratégias de caça, comparados às florestas, além da redução de presas, que pode ser observada pela redução da abundância da mesofauna e macrofauna geral do solo (Figura 7a). García-García *et al.*, 2023, avaliando os mesmos parâmetros das famílias de Araneae em cafezais (monocultivo e policultivo) e floresta tropical nativa em Oaxaca, México, relataram maior riqueza, diversidade dessas famílias nas florestas. Nesse trabalho, os autores atribuíram esses resultados à riqueza e abundância de espécies vegetais encontradas nas florestas, que são utilizadas como refúgios e locais de caça para as aranhas. Dessa forma, possivelmente a vegetação do sub-bosque, aliada com a complexidade de habitats encontrados na serapilheira das florestas adjacentes aos cafezais, seja os fatores decisivos para a abundância, riqueza e diversidade das famílias das aranhas, sendo esses fatores ausentes nas monocultura dos cafezais avaliados.

4.5 Índice de espécies indicadoras – táxons da macrofauna

Os invertebrados edáficos são constantemente utilizados como bioindicadores da qualidade do ecossistema (Da Silva *et al.*, 2020; Gedoz *et al.*, 2021). Neste trabalho, Araneae, Blattaria, Coleoptera, Diptera, Formicidae, Hymenoptera, Lepidoptera foram considerados indicadores das florestas adjacentes aos cafezais avaliados. O IndVal é uma ferramenta estatística que atribui um valor de importância (que varia de 0 a 1) a cada espécie em relação ao habitat, tomando como referência a fidelidade e constância da espécie em relação ao habitat (Dufrêne; Legendre, 1997). Com essa ferramenta estatística, é possível avaliar o impacto de atividades antrópicas sobre o ecossistema solo avaliado, através da abundância ou da presença e ausência de grupos da mesofauna e macrofauna do solo. O IndVal identificou táxons da macrofauna que foram indicadoras das florestas adjacentes aos cafezais avaliados, não encontrando possíveis táxons que fossem indicadores dos cafezais de menor e maior

produtividade (Tabela 2). Tal fato pode ser atribuído ao ambiente simplificado da monocultura do café, que limita a presença de grupos que requerem um ambiente com diversidade estrutural e de recursos alimentares para sua permanência.

Araneae (IndVal 0,93) são predadores que contribuem para o equilíbrio da cadeia trófica do solo, sendo um importante indicador de qualidade ambiental (Rinaldi; Forti, 1997; Da Silva *et al.*, 2020). O segundo táxon com maior número de indicação relacionado às florestas foi Diptera (IndVal 0,91), sendo associados a ambientes úmidos, com diversidade de plantas e associados à matéria orgânica do solo (Gedoz *et al.*, 2021). As formigas são consideradas bioindicadoras de conservação no bioma Mata Atlântica (Ribas *et al.*, 2012; Lutinski *et al.*, 2024). Por meio da riqueza, abundância e distribuição geográfica desses táxons, é possível fazer inferências sobre as condições de conservação do ambiente avaliado. A floresta oferece à macrofauna do solo a complexidade estrutural, através da diversidade de recursos, habitats (Ribas *et al.*, 2003). Assim como Formicidae, Coleoptera possui famílias com exigências microclimáticas e alta especificidade de habitat, sendo associadas a fragmentos florestais que podem ser consideradas indicadoras da biodiversidade do ambiente em que estão relacionadas (Salomão *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

A mesofauna e macrofauna do solo foram sensíveis para detectar as diferenças avaliadas nas produtividades das monoculturas de cafés inseridos no Bioma Mata Atlântica avaliados neste trabalho, evidenciando a importância da fauna do solo para avaliar os sistemas cafeeiros, juntamente com o monitoramento por meio de análises físico-químicas. O presente estudo investigou pela primeira vez a estrutura da comunidade de mesofauna e macrofauna em áreas de café de maior e menor produtividade, utilizando áreas de florestas adjacentes como sistema de referência.

As variáveis físico-químicas do solo, juntamente com a mudança do uso da terra, possuem forte influência na estrutura da comunidade da mesofauna e macrofauna do solo nos cafezais de monocultura avaliados.

A conversão de floresta para cafezais resultou em uma redução na abundância, riqueza e nos índices de diversidade Hill 1 e 2 das comunidades de Coleoptera e Araneae e na abundância da mesofauna e macrofauna da maioria dos táxons avaliados. Portanto, esse trabalho pode ser considerado um indicativo da perda de funções do solo relacionadas à mesofauna e macrofauna do solo e evidencia a importância das áreas nativas de florestas adjacentes aos cafezais para a conservação da biodiversidade do solo e suas funções associadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ARAÚJO, E. C. G. *et al.* Soil macrofauna in Brazil: a bibliometric review and state of the art. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 3, p. 14-29, 2020.

ARENHARDT, T. C. P.; VITORINO, M. D.; MARTINS, S. V. Insecta and Collembola as bioindicators of ecological restoration in the Ombrophilous Dense Forest in Southern Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 4, p. e20210008, 2021.

BAGYARAJ, D. J.; NETHRAVATHI, C. J.; NITIN, K. S. Soil biodiversity and arthropods: Role in soil fertility. In: Economic and ecological significance of arthropods in diversified ecosystems: **Sustaining regulatory mechanisms**. p. 17-51, 2016.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-1524-3_2

BARBOSA, G. de S. Besouros rola-bosta (Scarabaeidae: Scarabaeinae) como bioindicadores de produtividade em sistemas cafeeiros, Minas Gerais, Brasil. Dissertação – Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal – MG - 2024

BARETTA, D. *et al.* Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119 - 170, 2011.

BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144-147, 2016.
<https://doi.org/10.1038/nature18326>

BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 57, n. 1, p. 289–300, jan. 1995.

BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. **Agronomy Journal**, 54. 464-465. 1962.
<https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

BRUSSAARD, L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. **Applied soil ecology**, v. 9, n. 1-3, p. 123-135, 1998.

CARDOSO, P. *et al.* Indicator taxa of spider (Araneae) diversity and their efficiency in conservation. **Biological Conservation**, v. 120, n. 4, p. 517-524, 2004.

CARVALHO, R. L. *et al.* Understanding what bioindicators are actually indicating: Linking disturbance responses to ecological traits of dung beetles and ants. **Ecological Indicators**, v.

108, p. 105764, 2020.

CHAO, A.; JOST, L. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. **Ecology**, v. 93, n. 12, p. 2533-2547, 2012.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Café. **Boletim da Safra 2022**, v. 9, n. 4º levantamento, 2022.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Café. **Boletim da Safra 2023**, v. 9, n. 1º levantamento, 2023.

CONSTANTINO-CHUAIRE, L. M *et al.* Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en campo con un asolución atrayente. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 48, n. 2, 2022.
<https://doi.org/10.25100/socolen.v48i1.11353>

CULLINEY, T. W. Role of arthropods in maintaining soil fertility. **Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 629-659, 2013. [10.3390/agriculture3040629](https://doi.org/10.3390/agriculture3040629)

D'ARCY-BURT, S.; BLACKSHAW, R. P. Bibionids (Diptera: Bibionidae) in agricultural land: a review of damage, benefits, natural enemies and control. **Annals of applied Biology**, v. 118, n.3, p. 695-708, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb05359.x>

DA ROSA, M. G. *et al.* Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150033>

DA SILVA, D. C. *et al.* Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-375>

DARBY, M.; CHABOO, C. S. Beetles (Coleoptera) of Peru: a survey of the families. Ptiliidae Heer, 1843. **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 88, n. 2, p. 182-183, 2015.

DE ALMEIDA, R. N. *et al.* Estudo de invertebrados edáficos em áreas distintas quanto ao uso do solo. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 2, p. 195 - 206, 2020.
<https://doi.org/10.36524/ric.v6i2.477>

DE AQUINO, A. M. *et al.* Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European journal of soil biology**, v. 44, n. 2, p. 191-197, 2008.

De AQUINO, A. M. *et al.* Earthworms populations in agroforestry systems with conventional and organic coffee. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1184-1188, 2008.

DE CÁCERES, M.; JANSEN, F.; DELL, N. **Package “indicspecies”: Relationship Between Species and Groups of Sites**. 2022. Disponível em: <<https://emf-creaf.github.io/indicspecies/>>

DE CÁCERES, M.; LEGENDRE, P. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. **Ecology**, v. 90, n. 12, p. 3566–3574, dez. 2009.

DELOYA, C. *et al.* Escarabajos (Insecta: Coleoptera). **Manson, RH, Hernández-Ortíz, V., Gallina S., Mehlreter, K. Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, Manejo y Conservación. INECOL/INE-SEMARNAT.** México, DF, p. 123-134, 2008.

DIAS, S. C. *et al.* Refining the establishment of guilds in Neotropical spiders (Arachnida: Araneae). **Journal of Natural History**, v. 44, n. 3-4, p. 219-239, 2010.

DO PRADO, A. W.; BAPTISTA, R. L.C. Diversity and composition of the spider fauna in a semideciduous Atlantic forest area in Rio de Janeiro state, Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 58, n. 3, p. 500-521, 2023.

DOS SANTOS, J. B. *et al.* Soil macrofauna in organic and conventional coffee plantations in Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018.
<https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515>

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological monographs**, v. 67, n. 3, p. 345-366, 1997.
[https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0345:SAAIST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2)

EISAWI, K. A. E. *et al.* Impact of land-use changes on ant communities and the retention of ecosystem services in Rashad District, Southern Kordofan, Sudan. **South African Journal of Science**, v. 118, n. 3-4, p. 1-9, 2022.

FAO *et al.* **State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities.** Rome: Report 2020.

FILGUEIRAS, B. K. C. *et al.* Attractivity of omnivore, carnivore and herbivore mammalian dung to Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) in a tropical Atlantic rainforest remnant. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, p. 422-427, 2009.

FRANCO, A. L. C. *et al.* Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**, v. 563, p. 160-168, 2016.

FROUZ, J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 74, n. 1-3, p. 167-186, 1999.

GALLO, D. *et al.* **Entomologia Agrícola.** 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GARCÍA-CÁRDENAS, D. R. *et al.* Functional significance of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (Formicidae) in coffee plantations: An enemy or an ally? **Pedobiologia**, v. 93, p. 150825, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150825>

GARCÍA-GARCÍA, M. A. *et al.* Spider diversity (Arachnida: Araneae) in two different coffee management systems and surrounding tropical forest during two contrasting seasons in Oaxaca, Mexico. **Acta zoológica mexicana**, v. 39, 2023.

GEDOZ, M. et al. Edaphic invertebrates as indicators of soil integrity quality. **Floresta e Ambiente**, v. 28, p. e20200069, 2021.

GERLACH, J.; SAMWAYS, M.; PRYKE, J. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. **Journal of insect conservation**, v. 17, p. 831-850, 2013.

GRANDCOLAS, P. La richesse spécifique des communautés de Blattes du sous-bois en forêt tropicale de Guyane Française. **Revue d'Ecologie, Terre et Vie**, v. 49, p. 139-150, 1994.

GUIMARÃES, J. H.; PRADO, A. P. do; LINHARES, A. X. Three newly introduced blowfly species in Southern Brazil (Diptera, Calliphoridae). **Revista Brasileira de Entomologia**, vol. 22, p. 53-60, 1978.

GUIMARÃES, N. de F. *et al.* Fauna invertebrada epigéica associada a diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Coffee Science** v.11, n.4, p. 484 – 494, 2016.
<http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8243>

HOEFT, R. G.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R. Evaluation of various extractants for available soil surfur. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, n. 3, p. 401–404, 1973.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. The ants. **Harvard University Press**, 1990.

HOPP, P.W. *et al.* Recovery of litter inhabiting beetle assemblages during forest regeneration in the Atlantic forest of Southern Brazil. **Insect Conservation and Diversity**, v. 3, n. 2, p. 103-113, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e sistemas costeiros do Brasil**, 2019. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html> . Acesso em: 02/06/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santo-antonio-do-amparo/panorama>>. Acesso em: 2 jun. 2023.

JOST, L. Entropy and diversity. **Oikos**, v. 113, n. 2, p. 363-375, 2006.

JOHNSON, M. A. *et al.* Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: Perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. **Insects**, v. 11, n. 12, p. 882, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>

LAMMEL, D. R. *et al.* Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 894-905, 2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02414>

LAVELLE, P. *et al.* Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261-1276, 2022.
<https://doi.org/10.1111/geb.13492>

LAVELLE, P. Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biology International**, n.

33,1996.

LAVELLE, P. *et al.* Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1261-1276, 2022.

<https://doi.org/10.1111/geb.13492>

LENTH, R. V. **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. 2023. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>. Acesso em: 1 dez. 2023

LOPES, J. *et al.* A comparison of dung beetle assemblage structure (Coleoptera: Scarabaeidae:Scarabaeinae) between an Atlantic forest fragment and adjacent abandoned pasture in Paraná, Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 28, p. 72-79, 2011.

<https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000100011>

LUGO, E. H.; IBÁÑEZ, E. V.; LAVELLE, P. A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. *Applied Soil Ecology*, v. 193, p. 105138, 2024.

MARINONI, R. C.; GANHO, N. G. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil: abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, p. 737-744, 2003.

MARQUES, D. M. *et al.* Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal (Online)**, p. 1588-1597, 2014.

MCLEAN, E. O. *et al.* Aluminum in Soils: I. Extraction Methods and Magnitudes in Clays and Ohio Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 22, n. 5, p. 382-387, 1958.

<https://doi.org/10.1111/1467-9493.00061>

MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, NH₄. **Short test methods used in soil testing division**, n. 1, p. 1-53, 1953.

MÉNDEZ-ROJAS, D. M. *et al.* Rove beetle diversity and coffee agroecosystems in the Colombian Andes. **Biotropica**, v. 54, n. 2, p. 381-391, 2022.

<https://doi.org/10.1111/btp.13059>

MENEZES, M. *et al.* Resultados de campo com dados de manejo do café e classificação do solo dos talhões do município de Santo Antônio do Amparo -MG. **Relatório Técnico – Projeto FAPEMIG REDE**. 9 p. 2021.

MENTA, C.; REMELLI, S. Soil health and arthropods: From complex system to worthwhile investigation. **Insects**, v. 11, n. 1, p. 54, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>. Publicado em 14/04/2023. Acessado em 13/06/2023.

NICHOLS, L. *et al.* Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>

OLIVEIRA, C. C. *et al.* Sombreamento de café (*Coffea arabica* L.) por araucária (*Araucaria angustifolia* L.) e seus efeitos na macrofauna e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 06, p. 1668-1676, 2016.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p.793-810, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>

OKSANEN, J. *et al.* **Vegan: Community Ecology Package**, 2022. Disponível em: <<http://www2.uaem.mx/r-mirror/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>>

PEKÁR S., TOFT, S. Trophic specialisation in a predatory group: the case of prey-specialised spiders (Araneae). **Biological Reviews**. v. 90. 744-761. 2015. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1111/brv.12133>

PELLENS, R., *et al.* Biodiversity conservation and management in the Brazilian Atlantic forest: Every fragment must be considered, pp. 1–35. In: V. Rescigno & S. Maletta (eds). Biodiversity Hotspots. New York, Nova Publishers Inc. Princis, K. 1960. Zur systematik der Blattarien. Eos, **Revista Espanola de Entomologia** 36: 427–449. 2011

PERFECTO, I. *et al.* Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. **BioScience**, v. 46, n. 8, p. 598-608, 1996.

PHILPOTT, S. M.; FOSTER, P. F. Nest-site limitation in coffee agroecosystems: artificial nests maintain diversity of arboreal ants. **Ecological applications**, v. 15, n. 4, p. 1478-1485, 2005. <https://doi.org/10.1890/04-1496>

PIMENTEL, M. S. *et al.* Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em região do médio Paraíba Fluminense-RJ. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, v. 1, n. 2, p. 83-93, 2006.

PIMENTEL, M. S. *et al.* Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 545-552, 2011.

PINHEIRO, J.; BATES, D. **nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models**. R Core Team, 2022. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>

POMPEO, P. N. *et al.* Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Rev Bras Cienc Solo**. 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160433>

RAFAEL, J. A., *et al.* Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto: **Holos Editora**, 2012.

RAFAEL, J. A. *et al.* Apresentação: a diversidade de insetos no Brasil, pp. x-xii. In: Rafael, José A. *et al.*, 2013. (eds). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 2ª ed. Manaus: Instituto

Nacional de Pesquisas da Amazônia, 880 pp, 2024.

RIBAS, C. R. *et al.* Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2012, n. 1, p.636749, 2012.

RICKLEFS, R. E. **A economia da Natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2013.

ROOT, R. B. The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher. **Ecological monographs**, v. 37, n. 4, p. 317-350, 1967.

ROUSSEAU, G. X. *et al.* Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. **Acta amazônica**, v. 44, p. 499-512, 2014.

ROUSSEAU, G. *et al.* Potential of slash-and-mulch system with legumes to conserve soil attributes and macrofauna diversity in Eastern Amazon. **Pedobiologia**, v. 95, p. 150840, 2022.

SALOMÃO, R. P. *et al.* Edaphic beetle (Insecta: Coleoptera) diversity over a forest-matrix gradient in a tropical rainforest. **Journal of Insect Conservation**, v. 22, n. 3, p. 511-519, 2018.

SANCHEZ, P. A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. Cambridge University Press, 2019.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, n. 4, p. 274-277, 1961.

SCHEU, S. The soil food web: structure and perspectives. **European journal of soil biology**, v.38, n. 1, p. 11-20, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01117-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01117-7)

SCHMIDT, F. A.; RIBAS, Carla R.; SCHOEREDER, J. H. How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 158-166, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.031>

SOLAR, R. R. C. *et al.* Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. **Biological Conservation**, v. 197, p. 98-107, 2016.

STEINWANDTER, M. *et al.* Effects of Alpine land-use changes: Soil macrofauna community revisited. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 14, p. 5389-5399, 2017.

SUÁREZ, L. R.; PINTO, S. P. C.; SALAZAR, J. C. S. Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in southern Colombia. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. e20180334, 2019.

TAO, Ho-H. *et al.* Effects of soil management practices on soil fauna feeding activity in an Indonesian oil palm plantation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 218, p. 133-

140,2016.

TAURO, T. P. *et al.* Soil macrofauna response to integrated soil fertility management under maize monocropping in Zimbabwe. **Heliyon**, v. 7, n. 12, 2021.

TRAORE, M. *et al.* Effet de différents types de fertilisants sur la dynamique de la macrofaune du sol et les rendements en culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Centre du Burkina Faso. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 16, n. 1, p. 134-144, 2022.

TETTEH, D. A.; AMOS, I. Effect of land use on soil macrofauna in Southern Ghana. **Biodiversity**, p. 1-6, 2024.

UETZ, G. W.; HALAJ, J.; CADY, A. B. Guild structure of spiders in major crops. **Journal of Arachnology**, p. 270-280, 1999.

VANOLLI, B. S. *et al.* Edaphic and epigeic macrofauna responses to land use change in Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 117, p. 103514, 2023.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3066–3080, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.013>

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. **IBGE**, Rio de Janeiro, 1991.

VERDÚ, J. R.; NUMA, C.; HERNÁNDEZ-CUBA, O. The influence of landscape structure on ants and dung beetles diversity in a Mediterranean savanna - Forest ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 831-839, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.10.011>

VOLSI, B. *et al.* The dynamics of coffee production in Brazil. **PloS one**, v. 14, n. 7, p. e0219742, 2019.

WILSON, E. O. Causes of ecological success: the case of the ants. **Journal of animal Ecology**, v. 56, n. 1, p. 1-9, 1987.

WALKLEY, A.; BLACK, I. Armstrong. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29–38, 1934.

WURST, S.; SONNEMANN, I.; ZALLER, J. G. Soil macro-invertebrates: Their impact on plants and associated aboveground communities in temperate regions. **Aboveground–Belowground community ecology**, p. 175-200, 2018.

YIN, R. *et al.* Climate change does not alter land-use effects on soil fauna communities. **Applied Soil Ecology**, v. 140, p. 1-10, 2019.

YIN, R *et al.* Land-use intensification reduces soil macrofauna biomass at the community but not individual level. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 337, p. 108079, 2022.

7 MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1S: Abundância dos táxons amostrados nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes a esses cafezais, Santo Antônio do Amparo, MG.

| Ordem | Família | Gênero | Número de indivíduos | | | |
|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|-------------|-------|
| | | | Maior produtividade | Menor produtividade | Mata Nativa | |
| Acari | - | - | - | 355 | 1229 | 3740 |
| Araneae | <i>Amaurobiidae</i> | Ciniflella | sp.1 | - | - | 2 |
| Araneae | <i>Amaurobiidae</i> | Ciniflella | sp.2 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Corinnidae</i> | Castianeira | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Corinnidae</i> | Castianeira | sp.2 | 1 | - | - |
| Araneae | <i>Corinnidae</i> | Falconina | sp.1 | - | 1 | - |
| Araneae | <i>Corinnidae</i> | Ianduba | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Ctenidae</i> | Ctenus | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Gnaphosidae</i> | Apopyllus | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Gnaphosidae</i> | Camillina | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Linyphiidae</i> | Agyneta | sp.1 | 4 | 3 | 3 |
| Araneae | <i>Linyphiidae</i> | Agyneta | sp.2 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Linyphiidae</i> | Erigone | sp.1 | 1 | - | - |
| Araneae | <i>Linyphiidae</i> | Sphecozone | sp.1 | - | - | 3 |
| Araneae | <i>Linyphiidae</i> | Sphecozone | sp.2 | 1 | - | 2 |
| Araneae | <i>Lycosidae</i> | Trochosa | sp.1 | 2 | 4 | - |
| Araneae | <i>Mysmenidae</i> | Mymena | sp.1 | 1 | - | 2 |
| Araneae | <i>Ochyroceratidae</i> | Speocera | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Oonopidae</i> | Neotropis | sp.1 | - | - | 2 |
| Araneae | <i>Pholcidae</i> | Tupigea | sp.1 | - | - | 4 |
| Araneae | <i>Pycnothelidae</i> | - | - | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Salticidae</i> | Soesilarischius | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Tetrablemmidae</i> | Matta | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Theridiidae</i> | Coleosoma | sp.1 | - | 1 | - |
| Araneae | <i>Theridiidae</i> | Euryopsis | sp.1 | 1 | - | 2 |
| Araneae | <i>Theridiidae</i> | Styopsis | Sp1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Theridiidae</i> | Theridion | sp.1 | - | - | 1 |
| Araneae | <i>Theridiidae</i> | Thymoites | sp.1 | - | - | 5 |
| Opiliones | - | - | - | 1 | - | - |
| Pseudoscorpiones | <i>Chernetidae</i> | - | - | - | - | 11 |
| Scorpiones | <i>Buthidae</i> | - | - | - | - | 1 |
| Lithobiomorpha | <i>Henicopidae</i> | - | 1 | - | - | - |
| Scolopendromorpha | <i>Scolopendridae</i> | - | - | 1 | - | - |
| Polydesmida | <i>Chelodesmidae</i> | - | - | 1 | - | - |
| Polydesmida | <i>Cyrtodesmidae</i> | - | 2 | - | - | - |
| Polydesmida | <i>Paradoxosomatidae</i> | Orthomorpha | 1 | 1 | - | - |
| Polydesmida | <i>Paradoxosomatidae</i> | - | - | - | - | 1 |
| Spirostreptida | <i>Pseudonannolenidae</i> | - | - | - | - | 2 |
| Spirostreptida | <i>Spirostreptidae</i> | - | 1 | - | - | - |
| Archaeognatha | - | - | - | - | - | 2 |
| Blattaria | - | - | 4 | 2 | - | 397 |
| Coleoptera | <i>Anthicidae</i> | - | 4 | - | - | 4 |
| Coleoptera | <i>Carabidae</i> | - | 2 | - | - | 4 |
| Coleoptera | <i>Chrysomelidae</i> | - | - | - | - | 4 |
| Coleoptera | <i>Cicindelidae</i> | - | - | 2 | - | - |
| Coleoptera | <i>Coccinellidae</i> | - | - | 1 | - | - |
| Coleoptera | <i>Curculionidae</i> | - | 2 | 1 | - | 12 |
| Coleoptera | <i>Histeridae</i> | - | 7 | 4 | - | 51 |
| Coleoptera | <i>Hydraenidae</i> | - | - | - | - | 1 |
| Coleoptera | <i>Hydrophilidae</i> | - | - | - | - | 6 |
| Coleoptera | <i>Latridiidae</i> | - | - | - | - | 1 |
| Coleoptera | <i>Leiodidae</i> | - | - | 5 | - | 278 |
| Coleoptera | <i>Nitidulidae</i> | - | 5 | 1 | - | 19 |
| Coleoptera | <i>Ptilodactylidae</i> | - | - | - | - | 2 |
| Coleoptera | <i>Ptiliidae</i> | - | - | 1 | - | 404 |
| Coleoptera | <i>Scarabaeidae</i> | - | 77 | 154 | - | 1.240 |
| Coleoptera | <i>Scydmaenidae</i> | - | 2 | 1 | - | 4 |
| Coleoptera | <i>Staphylinidae</i> | - | 134 | 162 | - | 1.077 |
| Coleoptera | <i>Tenebrionidae</i> | - | 1 | - | - | 1 |
| Collembola | - | - | 901 | 595 | - | 700 |
| Dermaptera | - | - | - | - | - | 12 |
| Diptera | - | - | 735 | 860 | - | 8.777 |
| Hemiptera | - | - | 51 | 62 | - | 142 |
| Hymenoptera | - | - | 19 | 14 | - | 102 |
| Hymenoptera | <i>Formicidae</i> | - | 1322 | 476 | - | 11.39 |

| | | | | |
|-----------------------|---|-------|--------|--------|
| Isoptera | - | - | - | 2 |
| Larva | - | 109 | 87 | 170 |
| Lepidoptera | - | 13 | 21 | 60 |
| Neuroptera | - | 1 | - | - |
| Orthoptera | - | 14 | 19 | 31 |
| Thysanoptera | - | 2 | 1 | - |
| - | - | 147 | 147 | 6 |
| Isopoda | - | - | 1 | 4 |
| Nº indivíduos | | 3.924 | 3.858 | 28.864 |
| Soma total Indivíduos | | | 36.646 | |

Legenda: Abundância total da mesofauna e macrofauna amostradas nos cafezais de maior e menor produtividade e nas florestas adjacentes a esses cafezais, referente ao esforço amostral de 75 pitfall que permaneceram em campo por 48 horas durante o período de janeiro e fevereiro de 2022 no município de Santo Antônio do Amparo – MG, inserido no bioma Mata Atlântica. Para a ordem Araneae foram contabilizados apenas os indivíduos adultos.

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 2S: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada para os táxons da macrofauna amostradas no município de Santo Antônio do Amparo - MG.

| Termo | GL | Pseudo-F | P ajustado |
|-----------------------------|----|----------|---------------|
| Café de maior produtividade | 1 | 2,95 | 0,0495 |
| Floresta | 1 | 9,31 | 0,0060 |
| PC1 | 1 | 0,38 | 0,8980 |
| Residual | 11 | | |
| Café de menor produtividade | 1 | 3,87 | 0,0315 |
| Floresta | 1 | 8,39 | 0,0030 |
| PC1 | 1 | 0,38 | 0,9170 |
| Residual | 11 | | |

Legenda: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada após a seleção de variáveis para a comunidade da macrofauna do solo. Graus de liberdade (GL); Pseudo-F, estatística de F; P ajustado, *P* valores ajustados usando o procedimento de Benjamini-Hochberg. Termos significativos são mostrados em negrito.

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 3S: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada para as famílias de Coleoptera amostradas no município de Santo Antônio do Amparo - MG.

| Termo | GL | Pseudo-F | P ajustado |
|-----------------------------|----|----------|--------------|
| Café de maior produtividade | 1 | 3,31 | 0,044 |
| Floresta | 1 | 7,30 | 0,004 |
| PC1 | 1 | 1,05 | 0,337 |
| PC2 | 1 | 1,07 | 0,337 |
| Residual | 10 | | |
| <hr/> | | | |
| Café de menor produtividade | 1 | 2,86 | 0,046 |
| Floresta | 1 | 7,76 | 0,004 |
| PC1 | 1 | 1,05 | 0,312 |
| PC2 | 1 | 1,07 | 0,312 |
| Residual | 10 | | |

Legenda: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada após a seleção de variáveis para as famílias de Coleoptera. Graus de liberdade (GL); Pseudo-F, estatística de F; P ajustado, Pvalores ajustados usando o procedimento de Benjamini-Hochberg. Termos significativos são mostrados em negrito.

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 4S: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada para as famílias de Araneae amostradas no município de Santo Antônio do Amparo - MG.

| Termo | GL | Pseudo-F | P ajustado |
|-----------------------------|----|----------|---------------|
| Café de maior produtividade | 1 | 1,67 | 0,1307 |
| Floresta | 1 | 3,93 | 0,0040 |
| PC1 | 1 | 0,66 | 0,7170 |
| PC4 | 1 | 2,17 | 0,0760 |
| Residual | 10 | | |
| <hr/> | | | |
| Café de menor produtividade | 1 | 1,73 | 0,1755 |
| Floresta | 1 | 3,32 | 0,0240 |
| PC1 | 1 | 0,60 | 0,7900 |
| Residual | 11 | | |

Legenda: Resultados da análise de redundância baseada em distância (dbRDA) pareada após a seleção de variáveis para as famílias de Araneae do solo. Graus de liberdade (GL); Pseudo-F, estatística de F; P ajustado, *P* valores ajustados usando o procedimento de Benjamini-Hochberg. Termos significativos são mostrados em negrito.

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 5S: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e número de Hill (^qD) de 1 a 2 para as famílias de Coleoptera amostradas no município de Santo Antônio do Amparo - MG

| Variável | F.V. | df | F | P | Sig. |
|------------|--------------|----|--------|---------|------|
| Abundância | Intercepto | 1 | 25,30 | 0,00029 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 10,10 | 0,00267 | ** |
| Riqueza | Intercepto | 1 | 130,45 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 8,63 | 0,00475 | ** |
| $q = 1$ | Intercepto | 1 | 302,47 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 7,34 | 0,00828 | ** |
| $q = 2$ | Intercepto | 1 | 470,16 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 6,99 | 0,00973 | ** |

Legenda: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e número de Hill (^qD) de 1 a 2 para Coleoptera do solo. Fonte de variação, (F.V); grau de liberdade, (df); estatística de F, (F).

Fonte: Da Autora (2024)

Tabela 6S: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e número de Hill (^qD) de 1 a 2 para as famílias de Araneae amostradas no município de Santo Antônio do Amparo – MG.

| Variável | F.V. | df | F | P | Sig. |
|------------|--------------|----|--------|---------|------|
| Abundância | Intercepto | 1 | 299,62 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 52,17 | 0,00000 | *** |
| Riqueza | Intercepto | 1 | 271,49 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 31,95 | 0,00002 | *** |
| $q = 1$ | Intercepto | 1 | 179,69 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 27,61 | 0,00003 | *** |
| $q = 2$ | Intercepto | 1 | 119,91 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 22,52 | 0,00009 | *** |

Legenda: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e número de Hill (^qD) de 1 a 2 para Araneae do solo. Fonte de variação, (F.V); grau de liberdade, (df); estatística de F, (F).

Fonte: Da Autora (2024)

Tabela 7S: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e números de Hill (qD) de 1 a 2 para a macrofauna do solo, amostrada no município de Santo Antônio do Amparo - MG

| Variável | F.V. | df | F | P | Sig. |
|------------|--------------|----|--------|---------|------|
| Abundância | Intercepto | 1 | 41,05 | 0,00003 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 11,18 | 0,00181 | ** |
| Riqueza | Intercepto | 1 | 660,47 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 3,36 | 0,06940 | |
| $q = 1$ | Intercepto | 1 | 437,79 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 4,37 | 0,03760 | * |
| $q = 2$ | Intercepto | 1 | 230,57 | 0,00000 | *** |
| | Uso da terra | 2 | 2,81 | 0,09956 | |

Legenda: Resultados da ANOVA unidirecional para os efeitos do uso da terra na abundância, riqueza e números de Hill (qD) de 1 a 2 para a macrofauna geral do solo. Fonte de variação, (F.V); grau de liberdade,(df); estatística de F, (F).

Fonte: Da Autora (2024)

Tabela 8S: Médias (\pm erro-padrão) para variáveis ambientais em duas áreas de café (menor e maior produtividade) e uma área de floresta nativa amostrada no município de Santo Antônio do Amparo - MG

| Variável | Café maior produtividade | Café menor produtividade | Floresta |
|------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| pH | 6.36 (± 0.16) | 6.38 (± 0.21) | 4.48 (± 0.18) |
| MOS | 2.97 (± 0.29) | 2.73 (± 0.25) | 4.88 (± 0.34) |
| K ⁺ | 98.79 (± 13.59) | 116.32 (± 17.24) | 53.75 (± 2.76) |
| Na ⁺ | 10.40 (± 0.68) | 12.20 (± 0.80) | 3.60 (± 0.93) |
| P | 52.48 (± 12.65) | 45.12 (± 10.13) | 1.36 (± 0.20) |
| S | 24.20 (± 5.81) | 33.60 (± 7.60) | 7.84 (± 0.68) |
| Ca ²⁺ | 3.27 (± 0.51) | 3.27 (± 0.33) | 1.56 (± 0.74) |
| Mg ²⁺ | 1.50 (± 0.21) | 1.82 (± 0.18) | 0.96 (± 0.35) |
| Al ³⁺ | 0.14 (± 0.02) | 0.12 (± 0.02) | 1.04 (± 0.42) |
| H+Al | 3.22 (± 0.46) | 2.98 (± 0.63) | 11.78 (± 1.96) |
| SB | 5.12 (± 0.68) | 5.40 (± 0.42) | 2.71 (± 1.10) |
| CTCe | 5.24 (± 0.69) | 5.52 (± 0.43) | 3.84 (± 0.75) |
| CTCp | 9.07 (± 0.96) | 8.09 (± 0.63) | 14.40 (± 1.14) |
| V% | 59.55 (± 4.01) | 67.37 (± 5.21) | 21.33 (± 8.52) |
| m% | 2.57 (± 0.25) | 2.10 (± 0.22) | 35.26 (± 15.28) |
| P-rem | 30.04 (± 1.58) | 30.68 (± 1.18) | 18.16 (± 3.49) |
| Zn | 3.74 (± 0.92) | 3.52 (± 0.49) | 1.04 (± 0.22) |
| Fe | 25.58 (± 3.13) | 24.18 (± 2.86) | 72.46 (± 16.35) |

| | | | |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Mn | 5.88 (± 0.52) | 8.18 (± 2.59) | 31.22 (± 9.71) |
| Cu | 3.48 (± 0.33) | 2.90 (± 0.30) | 1.74 (± 0.37) |
| B | 0.24 (± 0.05) | 0.26 (± 0.04) | 0.14 (± 0.03) |
| Argila | 51.2 (± 0.80) | 50.40 (± 1.69) | 46.20 (± 2.85) |
| Silte | 15.20 (± 1.62) | 14 (± 1.87) | 18 (± 3.54) |
| Areia | 34.20 (± 2.22) | 37 (± 2.88) | 35 (± 1.38) |
| Ds | 1.21 (± 0.05) | 1.26 (± 0.04) | 0.90 (± 0.05) |

Legenda: MOS – matéria orgânica do solo (expressa em g kg^{-1}); P, S, Zn, Fe, Mn, Cu, B disponíveis P-rem – fósforo remanescente (expressos em mg kg^{-1}); K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} disponíveis, H+Al-acidez potencial, SB – soma de bases, CECe – capacidade de troca de cátions efetiva e CECp – capacidade de troca de cátions potencial (expressos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); V% – saturação por bases, m% – saturação por alumínio, argila, silte e areia (expressos em %); Ds – densidade do solo (expressa em g cm^{-3}).