



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA**

**CARBONO EM AGREGADOS E MACROFAUNA DO SOLO EM SISTEMAS  
DE CULTIVO DE CAFÉ NO SUDOESTE DA BAHIA**

**MARIANA DOS SANTOS NASCIMENTO**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA - BRASIL**  
**2021**

**MARIANA DOS SANTOS NASCIMENTO**

**CARBONO EM AGREGADOS E MACROFAUNA DO SOLO EM SISTEMAS  
DE CULTIVO DE CAFÉ NO SUDOESTE DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

Coorientador: Paulo Henrique Marques Monroe

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA - BRASIL  
2021

N196c

Nascimento, Mariana dos Santos.

Carbono em agregados e macrofauna do solo em sistemas de cultivo de café no sudoeste da Bahia. / Mariana dos Santos Nascimento, 2021.

59f. : il.

Orientador (a): D. Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2021.

Inclui referência F. 44 - 57.

1. Café - Cultivo. 2. Manejo conservacionista. 3. Carbono orgânico. 4. Indivíduos edáficos. I. Barreto-Garcia, Patrícia Anjos Bittencourt. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. T.III.

*Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890*

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**Área de Concentração em Fitotecnia**

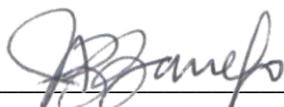
*Campus de Vitória da Conquista, BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título:** Carbono em agregados e macrofauna do solo em sistemas de cultivo de café no Sudoeste da Bahia.

**Autora:** Mariana dos Santos Nascimento

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



---

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB)  
Presidente



---

Marcos Gervasio Pereira, Dr. (UFRRJ)



---

George Gardner Brown, D.Sc., (EMBRAPA Florestas)

Data de realização: 13 de agosto de 2021.

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

Telefone: (77) 3425-9383, e-mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

*Aos meus pais, Miguel Raimundo do Nascimento e Ilma Soeme dos Santos Nascimento.*

*A minha irmã Muriel e a minha sobrinha Nathalia.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar e não desviar seus olhos de mim; por me amparar, mesmo quando eu achava que nada ia dar certo; e por me dá forças para chegar até aqui.

Aos meus pais, Ilma e Miguel, pelo amor e companheirismo diário, pela confiança que depositam em mim e pela educação que me proporcionaram, é um privilégio ser sua filha, amo vocês imensamente.

A minha irmã, Muriel, por ser minha pessoa no mundo e fazer de nossa jornada individual uma jornada compartilhada, por me apoiar nos piores e melhores momentos e por toda preocupação, amor, direcionamento e carinho dispensados a mim, te amo infinitamente!

A minha sobrinha Nathalia, que torna meus momentos mais leves, pelo amor sincero, por ser um dos meus melhores abraços e por me fazer querer ser sempre uma pessoa melhor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional, especialmente aos professores pelo conhecimento compartilhado.

A minha orientadora Patrícia A. B. Barreto-Garcia, pela confiança, amizade, por me incentivar a querer sempre evoluir e por acreditar na minha capacidade; a senhora é um exemplo de amor à profissão e à pesquisa, sou extremamente grata por ser sua orientanda.

Ao meu coorientador, Paulo Monroe, pela paciência de escutar todas as minhas reclamações, por me fazer superar minhas inseguranças e acreditar na minha capacidade. Em especial, por me ensinar que, apesar de meus problemas, para você, serem sempre meus problemas e não nossos, não preciso superá-los sozinha; obrigada pela amizade, é um privilégio poder absorver um pouco de todo o conhecimento que você tem guardado.

Aos fiéis escudeiros de campo e de vida, Maicon e Luma, por serem minhas certezas durante esse mestrado, agradeço pelo apoio, companheirismo e pela amizade, estarei sempre aqui por vocês, seja para o que for.

Ao grupo de pesquisa *Forest Soils*, pelas risadas, por me aguentarem tagarelando nas reuniões e no laboratório, e pela solicitude.

Aos amigos que de perto me apoiaram nessa jornada: Theilon e Thalita, pelos conselhos, estudos e desabafos compartilhados; Kelly, por estar sempre paciente a ouvir, por tornar seus os meus problemas e preocupações e procurar sempre ajudar de qualquer forma, obrigada por ser meu socorro em dias difíceis e uma das melhores companhias nos fáceis também; Fernanda e Bárbara, por tornarem meu período pandêmico mais feliz e animado, por me acolherem tão bem e por estarem ao meu lado; e também à Monalisa, pela parceria, por torcer sempre por mim e pelo incentivo e cuidado.

À Mariana, Gabriela, Deise, Amanda, Thaisa e Lorena, meu bataclan, que apesar da distância sempre me incentivam e acreditam em mim, vocês também fazem parte dessa conquista.

À Vanessa e Jhuly, que desde a graduação até hoje sempre me estimulam a ser melhor, pedaços de um trio hoje distante, mas sempre presentes e querendo o bem uma da outra, ainda carrego muito do que aprendi com vocês nos nossos anos de convivência.

Aos meus familiares que estão sempre torcendo pela minha felicidade e sucesso, que confiam na minha capacidade e que, mesmo sem entender muito o que eu faço, ficam alegres por cada conquista e passo alcançado; à Leticia, em especial, que sempre procura me apoiar e aconselhar, se preocupando sempre com o meu bem-estar; e à Maria Laura, que sempre acredita muito em mim. Amo vocês!

Enfim, obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais esse ciclo!

*“Esse é apenas um dos capítulos do livro em que tudo se lê e nada está escrito”*

(Albano Martins)

## RESUMO

NASCIMENTO, M.S. **Carbono em agregados e macrofauna do solo em sistemas de cultivo de café no Sudoeste da Bahia**. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2021. 51p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia).

O cultivo do café é uma das atividades agrícolas mais importantes do mundo. O Brasil é responsável por um terço da produção mundial, caracterizando-se como maior produtor e exportador do produto. Manejos de café que promovem a diversificação da serapliheira proporcionam a entrada de diferentes componentes da biomassa vegetal e favorecem a diversidade da comunidade da fauna edáfica, ciclagem de nutrientes e agregação do solo, uma vez que a matéria orgânica e os engenheiros edáficos têm influência direta sobre a agregação. O presente estudo objetivou avaliar a influência de diferentes sistemas de cultivo de café na comunidade da macrofauna edáfica e nos teores de carbono orgânico do solo e das classes de agregados, além da interação entre macrofauna edáfica, frações de carbono do solo e dos agregados. O trabalho foi conduzido no distrito de Lucaia, pertencente ao município de Planalto, na Bahia. Foram avaliados três sistemas: (1) sistema agroflorestal de café (*Coffea arabica* L.) com grevilea (*Grevillea robusta*) (SAF), (2) consórcio de café (*Coffea arabica* L.) com banana (*Musa spp.*) (CCB) e (3) floresta nativa (FN), que foi utilizada como referência. Em cada sistema, foram delimitadas quatro parcelas de 20 x 25 m, nas quais foi realizado o fracionamento seco do solo para obtenção de agregados das classes > 6, 6-4, 4-2 e < 2 mm. A amostragem da macrofauna edáfica foi realizada usando o método *Tropical Soil Biology and Fertility Programme*. Realizou-se a determinação do carbono lábil e total do solo e dos agregados. Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade. Para a fauna, adotou-se o teste de *Kruskal Wallis* e, para as classes de agregados e teores de carbono do solo, o teste de *Fisher LSD*, ambos a 5% de significância. Adicionalmente foram calculados os índices de manejo de carbono e os dados foram submetidos à análise de componentes principais. SAF e CCB apresentaram maior quantidade de agregados de maior tamanho (> 6, 6 - 4 e de 4-2 mm) do que a floresta nativa, mas isso não foi reflexo de uma maior quantidade de carbono. Maiores quantidades de raízes e carbono nos agregados não implicaram em maior quantidade de agregados > 2 mm. O CCB foi o sistema que mais se aproximou da FN quanto à macrofauna do solo, enquanto o SAF mostrou maior relação com as Oligochaetas.

**Palavras-chave:** Manejo conservacionista; carbono orgânico; indivíduos edáficos.

-----  
\***Orientadora:** Prof. Dr<sup>a</sup> Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, UESB

## ABSTRACT

NASCIMENTO, M. S. **Carbon in aggregates and soil macrofauna in coffee growing systems in southwest Bahia.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2020. 51p. (Dissertation: Master in Agronomy; Phytotechnics Concentration Area).

Coffee cultivation is one of the most important agricultural activities in the world. Brazil is responsible for one third of the world production, being characterized as the biggest producer and exporter of the product. Coffee managements that promote litter diversification provide the entry of different biological components and favor the diversity of the edaphic fauna community, nutrient cycling and soil structuring, since organic matter has a direct influence on aggregation. The present study aimed to evaluate the influence of different coffee growing systems on the edaphic macrofauna community and on the soil organic carbon contents and aggregate classes, in addition to the interaction between soil macrofauna, soil carbon fractions and aggregates. The work was conducted in the district of Lucaia, belonging to the municipality of Planalto, an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica* L.) with grevillea (*Grevillea robusta*) (SAF), intercropping coffee (*Coffea arabica* L.) with banana (*Musa spp.*) (CCB) and native forest (FN), which was used as reference, were evaluated. In each system, four 20 x 25 m plots were delimited, in which dry soil fractionation was performed to obtain aggregates of classes > 6, 6-4, 4-2 and < 2 mm, sampling of soil macrofauna by the *Tropical Soil Biology and Fertility Programme* method and determination of labile and total soil carbon and aggregates. Data were tested for normality and homogeneity. For fauna, the Kruskal Wallis test was adopted at 5% significance and for aggregate classes and soil carbon contents the Fisher LSD test, also at 5% significance. Additionally, carbon management indices were calculated and the data were subjected to principal component analysis in order to synthesize the multidimensional variation of treatments. SAF and CCB had a greater amount of larger aggregates (> 6, 6 - 4 and 4-2 mm) than the native forest, however this was not a reflection of a greater amount of carbon. Larger amounts of roots and carbon in the aggregates did not imply a greater amount of aggregates > 2 mm. The CCB was the system that came closest to FN in terms of soil macrofauna, on the other hand, the SAF showed a greater relationship with the Oligochaetas.

**Keywords:** Conservation management; organic carbon; edaphic individuals.

---

\* **Advisor:** Prof. Dr<sup>a</sup> Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, UESB.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema agroflorestal de café com grevilea (SAF), Consórcio de café com banana (CCB) e Floresta nativa (FN).....	25
Figura 2 - Representação do peneiramento seco realizado em campo (A) e amostras das classes de agregados obtidas a partir desse peneiramento (B).....	27
Figura 3 - Monólito de solo coletado pelo método <i>Tropical Soil Biology and Fertility Programme</i> de 0,25x0,25m de largura e 10 cm de profundidade.....	30
Figura 4 - Teores de carbono lábil (CL), carbono não lábil (CNL) e massa de raiz (Raiz) do solo.....	32
Figura 5 – Diagramas de ordenação produzidos pela análise de componentes principais da riqueza da macrofauna edáfica, o grupo dos Oligochaetas, carbono total e lábil do solo, pH, umidade, densidade, massa de raiz, argila e porcentagem das classes de agregados no sistema de agroflorestal (SAF), consórcio de café com banana (CCB) e floresta nativa (FN), sendo (a) distribuição das variáveis e (b) distribuição dos sistemas.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo (profundidade 0-10 cm) e acúmulo de serapilheira.....	25
Tabela 2 - Relação CL/COS, Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade do carbono (L), índice de labilidade do carbono (IL) e índice de manejo do carbono (IMC).....	33
Tabela 3 - Carbono orgânico, carbono lábil, massa de raiz e proporção de agregados.....	34
Tabela 4 - Densidade, riqueza e índices de diversidade da macrofauna edáfica.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise de componentes principais
Al	Alumínio
C	Carbono
CCB	Consórcio de café e banana
CL	Carbono lábil
cm	Centímetros
CNL	Carbono não lábil
C°	Graus célsius
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COS	Carbono orgânico do solo
dm	Decímetro
DS	Densidade do solo
Fe	Ferro
FN	Floresta nativa
GEE	Gases do efeito estufa
H	Hidrogênio
H'	Índice de diversidade de Shanon
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
ha	Hectare
ICC	Índice de compartimento de carbono
IL	Índice de labidade
IMC	Índice de manejo de carbono
J	Índice de equitabilidade de Pielou
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de potássio
Kg	Quilograma
L	Labilidade
L	Litro
mg	Miligramma
Mg	Magnésio
Mg	Megagrama
ml	Mililitro
mm	Milímetros
MOS	Matéria orgânica do solo
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
P	Fósforo
S	Enxofre
SAF	Sistema agroflorestal
TFSA	Terra fina seca ao ar
%	Porcento

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1 A cultura do café.....	15
2.2 Importância e características da matéria orgânica do solo .....	169
2.3 Matéria orgânica e estabilização de carbono no solo .....	18
2.4 Fauna edáfica .....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Área de estudo .....	23
3.2 Amostragem de solo .....	25
3.3 Fracionamento em classes de agregados.....	25
3.4 Raízes finas .....	26
3.5 Carbono orgânico e carbono lábil .....	26
3.6 Índice de manejo do carbono (IMC).....	27
3.7 Macrofauna edáfica.....	28
3.8 Análise estatística .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4.1 Carbono total e índice de manejo de carbono .....	30
4.2 Carbono em classes de agregados.....	32
4.3 Macrofauna Edáfica .....	36
4.4 Fauna, agregados e carbono .....	39
5 CONCLUSÃO .....	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXO.....	58

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do café é uma das atividades agrícolas mais importantes do mundo nos aspectos sociais e econômicos. O Brasil é responsável por um terço da produção mundial, caracterizando-se como maior produtor e exportador do produto (ICO, 2019). Dentre os estados brasileiros produtores, a Bahia ocupa o quarto lugar no *ranking*, com uma produção de cerca de 3,99 milhões de sacas em 2020, que foi alavancada por investimentos em pesquisa e implementação de tecnologias de irrigação e manejo das lavouras. O estado da Bahia possui três principais regiões produtoras: Cerrado e Planalto, que concentram café arábica (*Coffea arabica* L.); e Atlântica, especializada em café conilon (*Coffea canephora* P.) (CONAB, 2020).

A maioria das lavouras de café é conduzida em monocultivo a pleno sol, denominado de sistema convencional. Esse sistema tem sido bastante criticado, no que diz respeito à sustentabilidade, já que práticas de cultivo intensivo contínuo propiciam alta incidência de radiação solar, aceleração da decomposição da matéria orgânica e desestruturação do solo (Okolo et al., 2020; Nwite et al., 2018).

Por sua vez, o aumento da diversidade de espécies nos agroecossistemas, com a implantação de café em sistema agroflorestal (SAF) ou consórcio com outras culturas agrícolas, pode minimizar os efeitos estressantes das lavouras em monocultivo e promover condições microclimáticas mais favoráveis à biota edáfica. Essas práticas favorecem a manutenção e/ou diversificação da matéria orgânica do solo (MOS), o que resulta no aumento da sua qualidade e produtividade das culturas, além de promover o armazenamento de C, uma vez que o seu estoque no solo depende principalmente dos padrões de uso da terra (Tisdal e Oades, 1982).

A presença de diferentes espécies de plantas também proporciona uma variedade de componentes biológicos, que constituem fonte de energia e nutrientes e favorecem a diversidade da comunidade de micro e macrocomponentes da fauna edáfica e, como consequência, a ciclagem de nutrientes (Tavares et al., 2019; Inkotte et al., 2019. Rousseau et al., 2010; Batista et al., 2013). Além disso, a MOS tem influência direta sobre a agregação (Silva et al., 2012; Teixeira et al., 2014), pois possui efeito ligante e atua na união das partículas primárias do solo e formação de agregados estáveis. A proteção física da MOS, dentro de macroagregados, representa a principal forma de estabilização de carbono orgânico no solo (COS), em solos manejados, no entanto, diversos fatores regulam o acúmulo e a rotação do COS (Kravchenko e Guber, 2017; Wiesmeier *et al.*,

2019). Dentre esses fatores, estão o teor e a qualidade da matéria orgânica (Parron et al., 2015), o tipo e teor de argila, metais polivalentes, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos de plantas e substâncias provenientes da ação de microrganismos e de raízes finas (Batista et al., 2013; Tisdal e Oades, 1982).

De acordo com a teoria de hierarquização, os macroagregados são compostos principalmente de resíduos de plantas, raízes e exsudatos de raízes, hifas e outras matérias orgânicas frescas e partículas minerais (Spohn e Giani, 2011). Esses agregados ativos são responsáveis pela maior parte do carbono orgânico sequestrado no solo, mas estes podem se quebrar mais facilmente, de acordo com o manejo adotado, formando microagregados (Wei I., 2013). Os microagregados sequestram menos carbono e dependem principalmente da adsorção da matéria orgânica do solo às partículas minerais (Wang et al., 2015; Liusui et al., 2019).

Os agregados podem ser formados por ações físicas, químicas e adição de matéria orgânica (agregados fisiogênicos) ou por ação da fauna, com a deposição de excrementos e formação de poros e galerias (agregados biogênicos). A macrofauna do solo é representada por indivíduos de diversos grupos, tanto em termos morfológicos quanto comportamentais (Batista et al., 2013). Esses indivíduos atuam de forma proeminente na criação de macroporos e suas ações também influenciam na taxa de infiltração de água, trocas gasosas, resiliência do sistema e fragmentação dos tecidos vegetais, que serão humificados por microrganismos, aumentando sua taxa de decomposição (Binkley e Fisher, 2019; Rousseau I., 2010). Dentre esses animais, estão inclusos os térmitas, as minhocas, as formigas e os diplópodes, entre outros com diâmetro corporal superior a 2 mm (Lavelle, 1997; Vasconcellos et al., 2013).

Tendo em vista que a macrofauna edáfica exerce importante ação na agregação do solo que condiciona a proteção física da MOS, estudos que associem a avaliação desses componentes podem gerar informações relevantes sobre o nível de interação da macrofauna com a dinâmica da MOS em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar (1) a influência de diferentes sistemas de cultivo de café na comunidade da macrofauna edáfica e nos teores de COS e das classes de agregados e (2) a interação entre macrofauna edáfica e as frações de carbono no solo e nos agregados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do café

A cafeicultura é uma importante geradora de receita para o PIB brasileiro, onde alcança alta produtividade, liderando o cenário internacional como maior produtor e exportador de café, e segundo maior consumidor, após os Estados Unidos. Em 2019/2020, o país foi responsável pela produção de 63,1 milhões de sacas beneficiadas de um total de 171,9 milhões, estimadas mundialmente. A cafeicultura brasileira também gera receita para centenas de municípios, além de ser o principal gerador de postos de trabalho na agropecuária nacional (Brasileiro et al., 2016; CONAB, 2020).

O cafeeiro é uma planta perene de clima tropical, pertencente à família das rubiáceas e ao gênero *Coffea*. Este gênero é representado por aproximadamente 124 espécies e, dentre essas, a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner são as espécies de maior importância econômica no mercado internacional. O café *arabica* apresenta uma qualidade de bebida mais atrativa ao mercado (MAPA, 2016; Davis et al., 2011; Lima et al., 2010). As plantas de café possuem característica bienal, ou seja, um ano de alta e outro de baixa produtividade. Essa variação é comumente atribuída à diminuição de reservas das plantas em um ano de alta produtividade, fazendo com que ocorra menor crescimento dos ramos plagiotrópicos, que são os ramos produtivos do cafeeiro e, como consequência, uma produção mais baixa no ano seguinte (Matta et al., 2007; Silva et al., 2010).

A Bahia está entre os principais estados produtores de café no Brasil, ocupando a quarta posição. As principais regiões produtoras do estado são o planalto, oeste, atlântico e região da Chapada, que totalizaram juntas 3,99 milhões de sacas produzidas no ano de 2020 (CONAB, 2020). Os investimentos em tecnologias, como o melhoramento genético, nutrição mineral, sanidade e irrigação, permitiram um incremento de aproximadamente 80% na produção de café nos últimos 10 anos, sem alterações significativas na área cultivada (Partelli e Bonomo, 2016). Desse modo, em algumas regiões produtoras, a cafeicultura intensificou o uso de insumos e irrigação, enquanto em outras regiões se procurou otimizar os recursos mediante a aplicação de técnicas agroflorestais, com vista a melhorar a produtividade dos cafezais arborizados (Villatoro, 2004).

Os sistemas sustentáveis de produção do cafeeiro podem facilitar o acesso a mercados e segmentos restritos de consumidores que se dispõem a pagar prêmio por qualidade (Caixeta e Teixeira, 2009). Isso ocorre porque sistemas de produção que

adotam boas práticas de manejo e conservação do solo já estão entre as exigências para certificação e exportação de cafés especiais (BSCA, 2005). Os SAF's de café melhoram a prestação de serviços ecossistêmicos removendo carbono da atmosfera e acumulando-o por um longo tempo (Wartenberg et al., 2017; Forero et al., 2018; Villa et al., 2020) e, além disso, cumprem funções como fornecimento de sombra, fertilização do solo e produção de produtos adicionais, como frutas e madeira (Tschora e Cherubini, 2020).

Na cafeicultura, os sistemas agroflorestais abrangem 10% da área mundial, dos quais a maior parte pertence ao Brasil, Guatemala e Peru (Rice, 2011). Nos SAFs, ocorre aporte contínuo de material orgânico que diminui a susceptibilidade do sistema em perder água e nutrientes, já que outras espécies também contribuem com adição de resíduos orgânicos, a proteção do solo e a reciclagem de nutrientes (Youkhana e Idol, 2011; Thomazini et al., 2013). As lavouras cafeeiras, consorciadas com árvores, apresentam menor densidade do solo e maior armazenamento de água, quando comparadas com lavouras cafeeiras convencionais (Silva et al., 2015). Adicionalmente cafeeiros sob sistemas consorciados com árvores, como o *Eucalyptus deglupta*, a *Erythrina poeppigiana* e a *Albizia adianthifolia*, propiciam maiores estoques de carbono orgânico do solo, quando comparados a monocultivos de cafeeiro em pleno sol (Ávila et al., 2019; Dossa et al., 2008).

Entretanto, apesar dessas vantagens, no Brasil, a cafeicultura atualmente ainda é praticada majoritariamente a pleno sol. Isso pode ser devido aos trabalhos iniciais com SAF, que utilizaram sombreamentos intensos que afetaram negativamente a produtividade (Valentini et al., 2010). Além disso, existem controvérsias sobre a escolha das espécies mais apropriadas para consórcio com o cafeeiro (Jaramillo-Botero et al., 2008), já que as observações dos agricultores geram opiniões divergentes e os pesquisadores contam com escassas informações científicas sobre o comportamento das espécies em consórcio com cafeeiros.

## **2.2 Importância e características da matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica pode ser definida como todo material orgânico, vegetal e animal (liteira, fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, compostos solúveis e a matéria orgânica ligada intimamente aos argilominerais do solo) (Stevenson, 1994), sendo constituída basicamente por C, em maior quantidade, além de H, O, N, P e S (Xavier, 2013).

Em geral, a MOS pode ser dividida em duas frações: a não húmica, em vários estágios de decomposição da biomassa de origem; e a fração sem identidade morfológica e alterada quimicamente (Xavier et al., 2013). A primeira, em geral, é conhecida como fração lábil, da qual fazem parte a serapilheira recém-aportada e fração leve da MOS, sendo que as alterações no seu estoque podem ser promovidas pelo manejo e, geralmente, são percebidas em curto prazo (Silva et al., 2011). Esse compartimento tem como função o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo, representando, na maioria das vezes, de 3 - 20 % do C total do solo, embora nos solos onde os mecanismos de proteção física e química são limitados, como os de textura arenosa, esses valores podem alcançar até cerca de 40% do C total. Sendo assim, essa fração não apenas regula a disponibilidade de nutrientes, mas também participa diretamente da ciclagem de C e nutrientes (Guo et al., 2018; Zhang et al., 2018).

À medida que ocorre a fragmentação da fração leve em material de menor tamanho e, conseqüentemente, maior superfície específica, a mesma pode tornar-se fisicamente e/ou quimicamente estabilizada dentro do componente mineral do solo, transformando-se na fração associada aos minerais ou fração humificada, que representa cerca de 2/3 do C orgânico e possui maior recalcitrância. Sua função é atuar sobre as características físicas e químicas do solo, desempenhando um papel de interesse particular no contexto do ciclo global do C, por possuir longa persistência no solo e alta contribuição para o C total (Schmidt et al., 2011).

Componentes orgânicos com maior labilidade respondem mais rapidamente à perturbação que o solo pode vir a ser submetido e são considerados indicadores sensíveis de alterações nas taxas do carbono e qualidade do solo (Bongiorno et al., 2019; Culman et al., 2012). Pelo fato das frações da MOS possuírem diferentes estabilidades, mudanças induzidas pelas condições ambientais costumam ser difíceis de detectar através da quantificação apenas do COS (Barreto et al., 2011; Bongiorno et al., 2019).

Em solos sob vegetação natural, não são observadas grandes variações nos estoques de MOS, pois há um equilíbrio entre as entradas e saídas, apesar de ainda existir uma variabilidade das médias mensais do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, devido à variação de fatores edafoclimáticos (Costa et al., 2015; Parron et al., 2015). Todavia, em sistemas manejados, segundo Khorramdel et al. (2013), o acúmulo de material de origem orgânica no solo varia de acordo com as características edafoclimáticas de cada região e pode proporcionar algumas funções desejáveis, dentre as quais estão as melhorias nas propriedades físicas (agregação das partículas e diminuição da compactação do solo),

químicas (aumento nos teores de MOS na decomposição e mineralização dos resíduos vegetais) e biológicas (aumento da atividade de microrganismos) do solo (Costa et al., 2015).

Processos como a respiração microbiana do solo ou evolução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) estão fortemente associados ao teor e à qualidade da MOS, assim como sua estabilidade. O balanço entre a entrada e saída de carbono no solo é determinado por uma complexa interação entre fatores climáticos, população faunística e a composição química do material vegetal e práticas agrícolas inerentes aos diferentes sistemas de manejo (Parron et al., 2015). Hergoualc'h et al. (2012), ao estudarem a conversão e monocultura de café em uma plantação agroflorestal de café sombreado com leguminosas, observaram ganhos em relação à mitigação de emissão de gases de efeito estufa, estimado em 10,36 Mg de CO<sub>2</sub> eq/ha/ano durante o primeiro ciclo, além de efeitos positivos quanto ao nitrogênio, devido especialmente à capacidade de fixação pelas plantas utilizadas.

Nesse sentido, a adoção de práticas e sistemas de manejo conservacionistas pode tornar a propriedade agrícola sustentável através da preservação dos recursos naturais. Esses sistemas podem viabilizar a produção de alimentos, com rendimentos produtivos adequados e respeitando a dinâmica do carbono, com vistas a manter o estoque desse elemento no solo e reduzir emissões de CO<sub>2</sub> (Costa et al., 2015). O sucesso desses sistemas produtivos deve-se ao fato da serapilheira acumulada (pelas plantas de cobertura, pastagens ou restos culturais de lavouras comerciais) proporcionar um ambiente favorável à recuperação ou manutenção dos atributos físicos e químicos do solo (Mendonça et al., 2013).

### **2.3 Matéria orgânica e estabilização de carbono no solo**

O aumento da emissão de gases do efeito estufa (GEEs), com destaque para o CO<sub>2</sub>, tem despertado grande interesse em estudos relacionados ao ciclo do carbono, especialmente devido à sua implicação nas alterações climáticas (Carvalho et al., 2010; Denardin et al., 2014). As práticas agrícolas e as mudanças do uso do solo, devido ao desmatamento, são uma das principais fontes de emissão de gases indesejados, uma vez que as alterações de ecossistemas trazem mudanças nos fluxos de carbono para a atmosfera, em níveis que variam com a intensidade do distúrbio (Paiva et al., 2011).

O CO<sub>2</sub> é o gás que mais contribui para o efeito estufa, correspondendo a cerca de 55 % do total. Os quatro principais compartimentos de carbono na Terra são: oceanos, atmosfera, formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (biota + solo), que apresentam conexão entre si, com circulação de C entre eles (Lal, 2004; Pedro, 2005). Ao analisar o fator quantidade, percebe-se que no solo há de duas a três vezes mais carbono em relação ao estocado na vegetação e duas vezes mais em comparação à atmosfera, o que o torna um compartimento-chave no processo de emissão e sequestro desse gás (Parron et al., 2015).

Como mencionado no tópico anterior, a MOS tem o carbono como principal constituinte, é responsável por parte considerável do C presente nos solos e está em constante processo de modificação. Algumas práticas de manejo realizadas, como a utilização de arados e grades, provocam perdas de carbono, principalmente quando o solo é fisicamente protegido em agregados e destruído por implementos agrícolas (Loss et al., 2014). O ciclo do carbono está diretamente associado aos ecossistemas que emitem e/ou absorvem o CO<sub>2</sub> do ar, e seu reservatório no solo (COS) consiste em subconjuntos com diferentes taxas de rotatividade, que possuem diferentes sensibilidades às mudanças ambientais (Christensen, 2001; Guo et al., 2018).

Alguns processos possibilitam o decréscimo do potencial de perda da matéria orgânica do solo por respiração microbiana, erosão, volatilização ou lixiviação, os quais promovem o aumento do tempo de permanência do carbono no solo, mesmo que haja condições abióticas propícias ao desenvolvimento populacional da biomassa microbiana responsável pela decomposição (Monroe, 2015). Os três principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono nos solos são: recalcitrância bioquímica, que diz respeito à resistência do material à decomposição e que se dá devido ao aumento da estabilidade química das moléculas (ou supramoléculas) orgânicas do solo (Dieckow et al., 2004; Monroe, 2016); complexação de compostos orgânicos em sítios de adsorção dos minerais presentes na matriz do solo, como óxidos de Fe e Al (Pedro, 2005; Monroe, 2016); e oclusão da MOS dentro de agregados estáveis.

Essa oclusão nada mais é do que uma proteção física à decomposição e refere-se à localização da matéria orgânica no solo e ao acesso à mesma pelos decompositores. Com a oclusão do material, ocorre uma redução da taxa de difusão de O<sub>2</sub> no interior dos agregados, o que diminui a intensidade dos processos oxidativos sobre a MOS. Além disso, os agregados servem como barreiras físicas que dificultam o contato dos microrganismos, ou suas enzimas, ao substrato orgânico. Quando ocorre destruição dos

agregados, a MOS fica mais exposta à ação desses organismos e enzimas, cuja atividade é intensificada em função das condições mais oxidadas do ambiente (Dieckow et al., 2004). No plantio direto, por exemplo, há aumento na estabilidade, diâmetro médio dos agregados e quantidade de carbono em relação ao sistema convencional, comprovando a eficácia da proteção física (Brown et al., 2018).

A agregação é um processo iniciado através da união das partículas unitárias que, após inúmeros ciclos biológicos, físicos e químicos, se agrupam formando os microagregados (Tisdall e Oaedes, 1982), os quais podem se unir e originar os macroagregados. Estes últimos são originados por vias distintas, resultando na formação dos agregados fisiogênicos (pedogênicos), biogênicos ou intermediários, quando não há predomínio de uma via específica de formação (Velásquez et al., 2007).

Os agregados fisiogênicos são aqueles pelos quais a estabilização e a aproximação das partículas resultam da presença de matéria orgânica, óxidos e hidróxidos, além da atuação e influência do tipo e teor de argila, da ação de hifas e raízes, compostos derivados do metabolismo microbiano e ciclos de umedecimento e secagem (Batista et al., 2013; Velásquez et al., 2007). Essa formação constitui a via lenta na qual os agregados são desenvolvidos por ações físicas, químicas e adição de matéria orgânica. Já a via biogênica é onde os agregados são formados pela movimentação e excrementos de indivíduos da fauna do solo, ou ainda pela ação das raízes e exsudato, mais rápida em comparação à primeira (Mello et al., 2008). As raízes têm papel de destaque, pois em paralelo ao aumento de sua densidade e comprimento, verificam-se os maiores valores de agregação, sendo que raízes fibrosas produzem elevados níveis de macroagregados (Batista et al., 2013).

O aumento da diversidade e quantidade de flora e fauna do solo condicionam melhorias na agregação, uma vez que a atividade da fauna edáfica também favorece a formação de complexos organo-minerais e a agregação (Bronick e Lal, 2005). Há evidências de que macroagregados biogênicos são microsítios importantes para a formação de microagregados e, conseqüentemente, para a estabilização da MOS e armazenamento de nutrientes, que são liberados lentamente com a sua degradação (Brussaard et al., 2007). Em SAFs de café, a maior densidade de plantio e diversificação de árvores podem reduzir os efeitos da temperatura média anual em 1° C, em comparação aos cafezais manejados com árvores isoladas (Garedew et al., 2017), contribuir para o sequestro de carbono, reduzir os efeitos dos fenômenos climáticos, enriquecer a biodiversidade na paisagem, aumentar a estabilidade do sistema, evitar ou reduzir a

erosão do solo, aumentar as taxas de infiltração, melhorar a fertilidade e umidade do solo, aumentar a presença de matéria orgânica e fauna no solo e contribuir com nitrogênio para o solo (FAO, 2018).

O aumento da diversidade e quantidade de flora e fauna do solo condicionam melhorias na agregação, uma vez que a atividade da fauna edáfica favorece a formação de complexos organo-minerais e a agregação (Bronick e Lal, 2005). Há evidências de que macroagregados biogênicos são microsítios importantes para a formação de microagregados e, conseqüentemente, para a estabilização da MOS e armazenamento de nutrientes, que são liberados lentamente com a sua degradação (Brussaard et al., 2007). Garedew et al. (2017), ao estudarem SAFs de café, demonstraram que a maior densidade de plantio e diversificação de árvores pode reduzir os efeitos da temperatura média anual em 1° C, em comparação aos cafezais manejados com árvores isoladas, assim como a FAO (2018) indica que os SAFs do café, além de contribuir para o sequestro de carbono, permitem reduzir os efeitos dos fenômenos climáticos, enriquecer a biodiversidade na paisagem, aumentar a estabilidade do sistema, evitar ou reduzir a erosão do solo, aumentar as taxas de infiltração, melhorar a fertilidade e umidade do solo, aumentar a presença de matéria orgânica e fauna no solo e contribuir com nitrogênio para o solo.

## **2.4 Fauna edáfica**

A fauna do solo inclui organismos de vários tamanhos e modos de alimentação que, de acordo com a sua natureza e abundância, exercem efeito regulador nos processos biológicos e na dinâmica da matéria orgânica do solo (Lavelle et al., 1997,). A ação dos animais edáficos, na decomposição dos resíduos orgânicos, é complexa e pode incluir várias interações em diferentes escalas espaço-temporais (Frouz, 2018), a exemplo dos processos de fragmentação, assimilação dos nutrientes da serapilheira e produção de fezes que ocorrem em escalas de tempo de horas a dias e em escalas espaciais de milímetros a centímetros. Essas atividades podem influenciar diversos fatores, como a atividade microbiana, através das fezes que contêm microrganismos (Frouz e Šimek, 2009; Lavelle e Martin, 1992), além da decomposição, ao mediar a translocação da matéria orgânica no perfil do solo pela bioturbação, lixiviação e outros mecanismos (Kaneda et al., 2013; Frouz, 2018).

De acordo com o tamanho corporal, a fauna edáfica pode ser classificada em mesofauna, organismos entre 0,2 e 2 mm, e macrofauna, organismos maiores de 2 mm

(Melo et al., 2009). A mesofauna está envolvida em processos como a ciclagem de nutrientes e a regulação da biomassa microbiana, e representa, ainda, uma fonte alimentar para outros organismos (Oliveira Filho et al., 2015). Já a macrofauna é representada por um grupo diverso, tanto em termos morfológicos quanto comportamentais, e inclui as minhocas, os térmitas, as formigas e os diplópodes, entre outros (Pompeo et al., 2016; Lavelle, 1997; Lavelle et al., 2016; Vasconcellos et al., 2013) que atuam na desintegração e transformação da serapilheira, desempenhando importante papel no revolvimento e na incorporação de resíduos orgânicos às partículas minerais do solo.

A macrofauna do solo e os engenheiros do ecossistema em particular (minhocas, formigas e cupins), juntamente com os microrganismos do solo, promovem a agregação de partículas e a formação de agregados biogênicos (Bottinelli et al., 2015). Essas estruturas tendem a ser enriquecidas em C orgânico e nutrientes (Van Groenigen et al., 2019), caracterizando-se por muitas vezes serem mais estáveis do que os agregados formados por outros mecanismos (Pulleman et al., 2005).

Sendo assim, esses invertebrados podem contribuir de forma significativa para a formação de agregados estáveis e, conseqüentemente, para a estabilização do carbono orgânico do solo (COS) (Grandy et al., 2016; Rosa et al., 2015; Trentini et al., 2018). Entretanto, a magnitude da contribuição da fauna depende das características do ecossistema, como o tipo de vegetação, composição de espécies e idade, que regulam a qualidade da serapilheira acumulada e sua velocidade de transformação, e influenciam as populações e atividade da fauna (Warren e Zou, 2002; Assunção et al., 2019; Nascimento et al., 2021).

Mudanças no uso e manejo do solo ocasionam alterações na diversidade, tipologia funcional e distribuição da comunidade faunística do ambiente, o que torna esses indivíduos indicadores sensíveis às mudanças ocasionadas pelo uso e manejo do solo (Wang et al., 2015; Riutta et al., 2016). Em sistemas de manejo com café, geralmente, há um maior número de indivíduos na serrapilheira, quando comparado ao solo, o que pode ser devido ao fato deste compartimento ser mais rico em C e N lábil do que o solo (Silva et al., 2012), o que confirma uma relação direta entre os indivíduos edáficos e a espécie manejada. Adicionalmente, é importante ter mais de uma fonte de alimentação, uma vez que a quantidade e qualidade da serrapilheira depositada sobre o solo resultam diretamente da estrutura e natureza da vegetação e da formação de uma camada de matéria orgânica; e uma subsequente modificação do microclima resulta em um aumento de

biomassa, densidade, riqueza taxonômica e diversidade de espécimes (Decaëns et al., 1998).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no distrito de Lucaia, pertencente ao município de Planalto, na região Sudoeste do estado da Bahia, Brasil (IBGE, 2010; SEPLAN, 2018), em propriedades particulares, localizadas a aproximadamente 920 m de altitude. Foram avaliados dois sistemas produtivos de café e uma área de vegetação natural (Figura 1): (1) SAF – sistema agroflorestal de café (*Coffea arabica*) com grevilea (*Grevillea robusta*), com 21 anos de idade; (2) CCB – consórcio de café (*Coffea arabica*) com banana (*Musa* spp.), com 21 anos de idade, incluindo uma poda drástica do café (recepa) aos oito anos de idade; e (3) FN – floresta nativa com cerca 30 anos sem interferência, que foi utilizada como referência e está localizada nas proximidades dos cultivos de café.

O SAF ocupa uma área de aproximadamente 1 ha, e foi estabelecido em espaçamento 3,5 x 15,0 m (entre árvores) e 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros), com abertura de sulcos, adubação de plantio (20 mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples) e adubação orgânica de cobertura-manutenção (32 mg ha<sup>-1</sup> de esterco bovino). No CCB, que cobre uma área de 2 ha, adotou-se espaçamento 1,5 x 4,0 m (entre plantas de café) e 1,0 x 16,0 m (plantas de banana) e preparo do solo com aração, gradagem e abertura de sulcos, adubação de plantio (20 mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples) e de manutenção (17 mg ha<sup>-1</sup> de ureia e 33 mg ha<sup>-1</sup> de NPK 20-00-20). Em todos os sistemas, as manutenções foram realizadas duas vezes ao ano, com roçagem para controle de ervas espontâneas. O uso anterior das áreas de café foi para pastagem.

A floresta nativa é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana e encontra-se em estágio médio de regeneração, de acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1994 (Brasil, 1994), já que não sofre intervenção há mais de 20 anos. Possui área de aproximadamente 10 ha e apresenta vegetação de porte baixo (árvores com altura entre 10 e 15 m), composta de mesofanerófitos parcialmente caducifólios, envolvidos por lianas, com predominância de ecótipos da família Fabaceae, destacando-se o gênero *Parapiptadenia* (IBGE, 2012).



**Figura 1** – Sistema agroflorestal de café com grevilea (SAF), Consórcio de café com banana (CCB) e Floresta nativa (FN).

A região possui clima Tropical de altitude, Cwb, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,2 °C, pluviosidade média anual de 750 mm (IBGE, 2010). O solo das três áreas estudadas pertence a uma mesma classe: Latossolo Amarelo Distrófico (Santos et al., 2018), apresentando características químicas e acúmulo de serapilheira, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** - Caracterização química e física do solo (profundidade 0-10 cm) e acúmulo de serapilheira em sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta* (SAF), consórcio de café com banana (CCB) e floresta nativa (FN), no município de Planalto, Bahia, Brasil

Sistemas	pH <sup>(1)</sup>	MOS	P	K	Ca	Mg	Serapilheira	DS	Areia	Argila	Silte
		g dm <sup>-3</sup>	ng dn	cmolc dm <sup>-3</sup>			Mg ha <sup>-1</sup>	g dm <sup>3</sup>	g kg <sup>-1</sup>		
SAF	5,8	28	13	0,44	3,5	1,7	3,97	1,35	565	320	115
CCB	6,1	30	10	0,50	4,5	1,9	4,00	1,42	620	290	90
FN	4,8	32	3	0,17	1,9	1	5,77	1,34	650	280	70

<sup>(1)</sup> Análises realizadas de acordo com Teixeira et al. (2017): pH (água); P e K extraíveis por Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Serapilheira coletada via gabaritos de 0,25x0,25 m com um total de 16 amostras por área. Abreviações: SAF = sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta*; CCB = consórcio de banana e café; FN = floresta nativa; MOS = matéria orgânica do solo; DS = densidade do solo obtida pelo método do anel volumétrico, nas mesmas parcelas onde foram coletadas as amostras para análise da mesofauna, que consistiu na pesagem das amostras de solo coletadas em anel de volume conhecido (105,72 cm<sup>3</sup>), após secagem em estufa a 105 °C por 48 h.

### **3.2 Amostragem de solo**

A amostragem do solo foi realizada em fevereiro de 2021. Para isso, em cada sistema, foram delimitadas aleatoriamente quatro parcelas de 20 x 25 m, garantindo uma distância mínima de 20 metros entre as parcelas. Em cada parcela, foram adotadas três formas de amostragem de solo: (1) coleta com auxílio de trado holandês (para determinação da umidade e teores de carbono orgânico e carbono lábil do solo); (2) coleta com auxílio de pá (para fracionamento em classes de agregados); (3) coleta de monólitos com auxílio de pá (para avaliação da fauna). Na forma (1), coletou-se uma amostra composta de solo, obtida a partir de 10 amostras simples (profundidade 0–10 cm), retiradas por caminhada aleatória. Na coleta (2), em cada uma das parcelas, foram obtidas três amostras com dimensões aproximadas de 10 x 10 cm, também na profundidade 0-10 cm, pesando aproximadamente 1 kg cada. Na terceira forma, em cada parcela, foram obtidas aleatoriamente três repetições de um monólito de solo com dimensões de 0,25 x 0,25 m até 10 cm de profundidade, totalizando 12 repetições por sistema estudado. No caso particular dos sistemas de cultivo, os monólitos foram coletados abaixo da saia do café. Em todos os sistemas, assegurou-se de que os pontos de amostragem estivessem equidistantes, com no mínimo 5 metros de distância entre si, e que não se sobrepusessem aos pontos de coleta anteriores.

### **3.3 Fracionamento em classes de agregados**

Para realização do fracionamento em classes de agregados, as amostras foram submetidas a peneiramento no campo para evitar a deformação dos agregados no transporte. Para isso, utilizou-se um conjunto de peneiras de 6, 4 e 2 mm, obtendo-se quatro classes de agregados: (1) maiores que 6 mm ( $> 6$  mm), (2) entre 6 e 4 mm (6-4 mm), (3) entre 4 e 2 mm (4-2 mm) e (4) menores que 2 mm ( $< 2$  mm) (Figura 2). Após a separação, as classes de agregados foram secas em estufa a 60° e, posteriormente, pesadas, determinando-se sua porcentagem relativa.



**Figura 2** – Representação do peneiramento seco realizado em campo (A) e amostras das classes de agregados obtidas a partir desse peneiramento (B).

### 3.4 Raízes finas

Amostras contendo 300 gramas de agregados das três classes maiores (> 6, 6-4 e 4-2 mm) foram utilizadas para quantificação das massas de raízes existentes nas respectivas classes.

### 3.5 Carbono orgânico e carbono lábil

Para a determinação dos teores de carbono orgânico do solo (COS), foi utilizado aproximadamente 0,5 g do solo não fracionado e dos agregados secos (amostras maceradas em gral e passadas por peneira de 0,2 mm). Empregou-se a técnica de oxidação úmida com  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup>, em meio ácido (Yeomans and Bremner, 1988). A cada amostra adicionou-se 5 mL  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e 7,5 mL de  $H_2SO_4$  em tubos de digestão, que foram levados a bloco previamente aquecido à temperatura de 170 °C por 21-30 minutos. Após a retirada dos tubos, o material foi transferido para erlenmeyer de 250 mL, e, ao alcançar a temperatura ambiente, adicionou-se cerca de 0,3 mL da solução indicadora para posterior titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L<sup>-1</sup> até a obtenção do ponto de viragem.

A determinação do carbono lábil (CL) foi realizada segundo o método de Blair *et al.* (1995), adaptado por Shang e Tiessen (1997), no qual utiliza-se uma solução de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) 0,033 mol L<sup>-1</sup> como oxidante. O procedimento consistiu na pesagem de 1 grama de terra fina seca ao ar (TFSA) e transferência para tubos de centrífuga de 50 ml. Posteriormente, adicionou-se 25 ml da solução de KMnO<sub>4</sub> 0,033 mol L<sup>-1</sup> submetendo-se as amostras a agitação por 1 hora a 60 rpm. Em seguida, realizou-se centrifugação durante 5 minutos a 7 rpm. Após os procedimentos descritos, pipetou-se 1 ml do sobrenadante em balões volumétricos de 250 mL, adicionando-se água destilada para completar seu volume. A leitura foi realizada em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 565 nm. A mudança na concentração de KMnO<sub>4</sub> foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado através de uma curva padrão (com uma solução contendo 0,0033 mol L<sup>-1</sup> de KMnO<sub>4</sub>) e, com isso, determinar o CL. Para cada ponto da curva, foram pipetadas em 6 balões, de 250 ml, quantidades correspondentes a 0,0; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1 ml da solução, completando o volume com água deionizada.

### 3.6 Índice de manejo do carbono (IMC)

As concentrações COS e CL foram utilizadas para obter o índice de manejo de carbono do solo, de acordo com o procedimento descrito por Blair *et al.* (1995), conforme equação (1). O IMC foi utilizado neste estudo para avaliar o efeito da adição natural de resíduos orgânicos pelos sistemas de cultivo de café em paralelo ao proposto no estudo de Blair *et al.* (1995), que foi avaliar a influência do manejo de resíduos orgânicos. Por essa razão, foi calculado apenas em relação ao C do solo como um todo, sem considerar as classes de agregados, uma vez que a dinâmica da matéria orgânica oclusa no interior dos agregados (fisicamente protegidos à decomposição) pode ser regulada por mecanismos diferentes daqueles que condicionam a fração não-

$$\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100 \quad (1)$$

Em que: ICC representa o índice do compartimento de carbono e IL o índice de labilidade, obtidos, respectivamente, de acordo com as equações (2) e (3).

$$\text{ICC} = (\text{COS tratamento}) / (\text{COS referência}) \quad (2)$$

$$\text{IL} = (\text{L tratamento}) / (\text{L referência}) \quad (3)$$

Em que: COS tratamento é a concentração de C orgânico da fração no sistema de cultivo de café; COS referência é a concentração de C orgânico da floresta nativa; L tratamento e L referência é a labilidade de carbono do sistema de cultivo e da floresta natural, respectivamente, obtidos pela equação (4).

$$L = CL / CNL \quad (4)$$

Em que: CL é a concentração de carbono lábil e CNL é a concentração de carbono não lábil, obtida pela diferença entre COS e CL.

### **3.7 Macrofauna edáfica**

A comunidade da macrofauna do solo foi amostrada empregando-se o método recomendado pelo *Tropical Soil Biology and Fertility Programme* (Anderson & Ingram, 1993) (Figura 3). Após a retirada, cada monólito foi colocado em uma bandeja plástica de fundo branco, destorreado e os organismos visíveis a olho nu foram coletados com o auxílio de uma pinça. Após isso, os organismos foram acondicionados em potes plásticos, contendo álcool a 70%. No laboratório, realizou-se a identificação e contagem dos invertebrados em grandes grupos taxonômicos, de acordo com Dindal (1990). Com base nos dados de identificação dos grupos da macrofauna do solo, foram calculados: densidade (número de indivíduos por m<sup>2</sup>), riqueza (número de grupos identificados) e índices de diversidade de Shannon (H') e de equitabilidade de Pielou (J).



**Figura 3** – Monólito de solo coletado pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility Programme* de 0,25x0,25m de largura e 10 cm de profundidade.

### 3.8 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov, 5%) e homogeneidade (teste de Bartlett, 5%). No caso da fauna edáfica, após verificar a não normalidade e homogeneidade dos dados, adotou-se o teste de Kruskal Wallis a 5% de significância. Para as classes de agregados e teores de carbono do solo, utilizou-se o teste de Fisher LSD, também a 5% de significância.

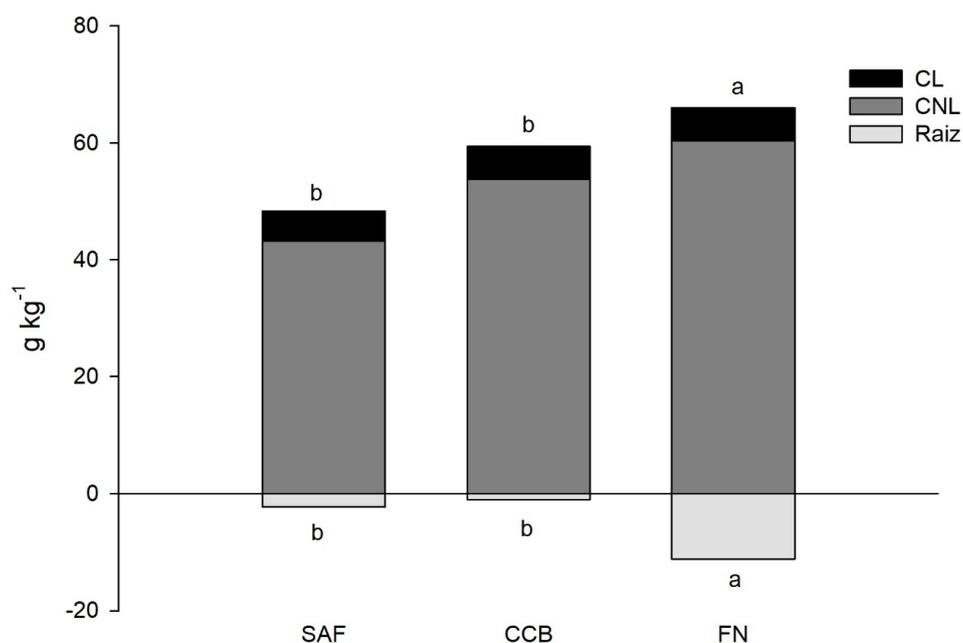
De forma complementar, os dados de riqueza da macrofauna edáfica, densidade de Oligochaetas, Coleopteras, Isopteras e Formicidae, carbono orgânico total e lábil, pH, umidade, densidade, massa de raiz, argila e porcentagem das classes de agregados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), com uso do *software XLSTAT@ software Version 19.2.2 (ADDINSOFT, 2019)*. Os grupos da macrofauna foram selecionados por estarem relacionados ao processo de bioturbação, que influencia na agregação do solo. Essa análise teve propósito de sintetizar a variação multidimensional dos tratamentos em um diagrama, ordenando-os nos componentes, de acordo com suas similaridades em torno das variáveis utilizadas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Carbono total e índice de manejo de carbono**

Os sistemas de cultivo de café propiciaram redução dos teores do COS, quando comparados à floresta nativa, não diferindo entre si (Figura 4). No entanto, não foram observadas diferenças significativas quanto ao carbono lábil. A conversão de sistemas naturais em agroecossistemas promove a diminuição do aporte de resíduos vegetais ou, ainda, uma modificação da taxa de decomposição da matéria orgânica (Sá et al., 2015). A implantação desses sistemas ocasiona alterações nas condições naturais do ambiente pela diminuição da diversidade de espécies e da simplificação da estrutura complexa dos nichos ecológicos, resultando em menor acúmulo de serapilheira e, como consequência, menores teores de MOS (Maestri et al., 2013; Neto et al., 2018).

Para a massa de raízes, também foram verificadas diferenças entre sistemas, seguindo padrão semelhante aos resultados de COS, com menores valores nos sistemas produtivos de café em comparação a FN (Figura 4). Esse padrão demonstra a importante participação das raízes na estocagem de carbono no solo e corrobora com estudos recentes que sugerem que o material orgânico existente abaixo do solo contribui amplamente para o aumento dos teores de MOS, que é estabilizado no solo a médio e longo prazo (Mendez-Millan et al., 2010; Clemmensen et al., 2015). A distribuição vertical da raiz, juntamente com a maior diversidade de plantas, compõe as maiores entradas de C orgânico do solo para diferentes espécies e tipos de solo (Jobbágy e Jackson, 2000).



**Figura 4** – Teores de carbono lábil (CL), carbono não lábil (CNL) e massa de raiz (Raiz) do solo.

Letras iguais acima e abaixo das barras não diferem entre si pelo teste Fisher LSD, a 5% de probabilidade. As letras acima das barras correspondem ao carbono orgânico total, soma de carbono lábil (CL) e carbono não lábil (CNL).

Além disso, ainda em consonância com os resultados de massa de raízes, Lange et al. (2015) demonstraram que uma maior diversidade de plantas aumenta as entradas de carbono da rizosfera. A rizodeposição representa cerca de 11% do C assimilado pelas plantas ou 27% daquele alocado nas raízes (Balesdent et al., 2011).

O índice de manejo de carbono foi mais expressivo no CCB (100,28) em comparação ao SAF (90,56). Valores de IMC acima de 100 geralmente estão associados a sistemas que mantém os resíduos depositados pelas plantas e utilizam adição de fertilizantes (Lou et al., 2011; Sá Moraes et al., 2018; Vieira et al., 2007), enquanto menores valores podem indicar impactos negativos no manejo do COS. Segundo Hamer et al. (2009), fertilizantes inorgânicos podem influenciar a entrada de C ao afetar o crescimento da cultura e, por sua vez, o resíduo retornado. Além disso, a adubação inorgânica pode controlar as saídas ao afetar a atividade microbiana do solo pelo aumento de disponibilidade de recursos. Assim, o índice superior a 100, observado no sistema CCB, pode ser atribuído à adição substancial de fertilização inorgânica, que estaria favorecendo o crescimento da cultura e propiciando um efeito positivo no sequestro de COS. Esse padrão denota maior capacidade de preservação do COS por esse sistema, mantendo a qualidade do solo na sua camada superficial.

**Tabela 2** – Relação CL/COS, Índice de compartimento de carbono (ICC), labilidade do carbono (L), índice de labilidade do carbono (IL) e índice de manejo do carbono (IMC) em sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta* (SAF), consórcio de café com banana (CCB) em relação à floresta nativa (FN)

Sistemas <sup>(1)</sup>	CL/COS	ICC	L	IL	IMC
SAF	0,105	0,66	0,12	1,38	90,56
CCB	0,102	0,75	0,11	1,33	100,28
FN	0,079		0,09		

Em contrapartida, o SAF foi o sistema que apresentou valores mais expressivos para os índices CL/COS, L e IL (Tabela 2), o que indica que este sistema, apesar de não apresentar um IMC superior, estaria favorecendo o aumento de frações mais lábeis do carbono (Blair et al., 1995; Vieira et al., 2007). Isso pode ser atribuído à maior deposição de serapilheira na área de SAF em comparação ao CCB (Tabela 4) que, devido ao espaçamento amplo entre bananeiras (Figura 4), pode estar proporcionando características de plantio semelhantes aos monocultivos, com menor diversidade de plantas e resíduos orgânicos. Esses resultados estão em consonância com o estudo de Feliciano et al. (2018) que, ao realizarem uma meta-análise sobre sequestro de carbono no solo por diferentes sistemas agroflorestais, concluíram que as maiores taxas de sequestro de carbono no solo ocorrem em sistemas com maior heterogeneidade de plantas.

O uso de adubação orgânica no SAF também pode ser um fator preponderante na formação de frações mais lábeis do COS. Nesse sentido, uma série de estudos sugere que a aplicação de adubo orgânico, sozinho ou em combinação com fertilizantes inorgânicos, mostra-se eficaz no aumento do COS e suas frações (Blair et al., 2006; Rudrappa et al., 2006; Purakayastha et al., 2008; Gong et al., 2009; Lou et al., 2011).

#### 4.2 Carbono em classes de agregados

Seguindo o mesmo padrão dos teores de carbono do solo, observou-se redução dos teores de carbono das classes de agregados 6-4, 4-2 e < 2 mm, nos sistemas de café, em comparação a FN. Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2021) ao estudarem o fracionamento de agregados, com maiores valores na floresta nativa, quando comparada a sistemas manejados. Pereira et al. (2021) também

observaram menores valores de carbono das frações granulométricas nos sistemas de cultivo em relação ao ambiente nativo, isso pode ser atribuído às características do sistema natural que produz maior aporte de matéria orgânica de diferentes espécies vegetais em um ambiente mais favorável para preservação (Diniz et al., 2015; Sá et al., 2015). Outros autores, como Lal et al. (2004), também afirmam que o rápido decréscimo nos estoques de C em solos cultivados pode ser uma resposta às menores entradas de C provenientes da vegetação.

**Tabela 3** – Carbono orgânico, carbono lábil massa de raiz e proporção de agregados em sistema agrolorestal de café com *Grevillea robusta* (SAF), plantio de café com banana (CB) e floresta nativa (FN)

Sistemas de uso da terra	Classe de agregado (mm)	%	Carbono Orgânico	Carbono Lábil (g kg <sup>-1</sup> )	Massa de Raiz
<b>SAF</b>	> 6	32,76 A a	63,39 A a	6,34 A a	1,17 A b
	6 – 4	23,09 BC a	65,61 A b	6,36 A a	0,44 A b
	4 – 2	18,63 C ab	53,30 A b	6,38 Aa	0,67 A b
	< 2	25,52 B c	58,18 A b	6,33 Aa	*
<b>CCB</b>	> 6	17,10 C b	57,18 A a	5,85 A a	0,42 A b
	6 – 4	24,46 B a	57,18 A b	5,10 AB b	0,318 A b
	4 – 2	22,90 B a	46,97 A b	4,36 B b	0,30 A b
	< 2	35,55 A b	47,89 A b	5,74 Aa	*
<b>FN</b>	> 6	16,37 B b	65,65 A a	5,77 A a	6,19 A a
	6 – 4	13,93 B b	87,11 A a	6,22 A ab	1,80 B a
	4 – 2	16,30 B b	81,27 A a	6,50 A a	3,21 AB a
	< 2	53,40 A a	81,48 A a	6,87 A a	*

Letras iguais maiúsculas na coluna, que comparam as classes de agregados em cada sistema, e minúsculas na coluna, que comparam os sistemas em cada classe de agregado, não diferem entre si, pelo teste de Fisher, a 5 % de probabilidade.

Em todos os sistemas estudados, não foram observadas diferenças significativas dos teores de carbono orgânico entre classes de agregados. Por outro lado, o carbono lábil mostrou variação entre classes no sistema CCB, com maiores valores na classe > 6 mm em relação à classe < 2 mm, não diferindo nas demais frações (6-4 e 4-2 mm). De acordo com Six et al. (2004), pela teoria de formação de agregados, inicialmente, os cátions fazem ligações entre a argila e a MOS, formando estruturas que geralmente são protegidas da mineralização e, posteriormente, formam-se os macroagregados, compostos principalmente de resíduos de plantas, raízes, exsudatos de raízes, hifas e outros materiais orgânicos frescos e partículas minerais. Por essa razão, agregados de maior tamanho

constituem um compartimento do COS que é diretamente afetado pela disponibilidade de matéria orgânica (Spohn e Giani, 2011). Assim, materiais de fácil degradação garantem a presença de substâncias orgânicas, conhecidas como transitórias (com maior labilidade) que, normalmente, estão associadas à estabilidade dos macroagregados (Angers and Mehuys, 1989; Liusui et al., 2019). Entretanto, não é possível determinar qual mecanismo estaria atuando no comportamento da matéria orgânica ou influenciando na agregação em questão, uma vez que trabalhos como o de Rodriguez et al. (2021), trabalhando com o mesmo fracionamento adotado neste estudo, apontaram que grande parte do carbono estocado no solo estava em agregados maiores que 5 mm, de origem biogênica, sugerindo que fatores bióticos estavam sendo mais preponderantes na agregação.

No que diz respeito à comparação do CL das diferentes classes entre os sistemas, observou-se que as classes 6-4 e 4-2 mm apresentaram maiores valores de CL no SAF em relação ao CCB, que apresentou menores valores que a FN, apenas na classe de 4-2 mm. Os resultados superiores de CL no SAF demonstram que houve uma influência positiva das árvores de grevilea para o acréscimo de matéria orgânica lábil, possivelmente pela maior incorporação de resíduos orgânicos mais ricos em nitrogênio e outros nutrientes. Corroborando essa explicação, Radomski e Ribaski (2012) observaram que a presença de *Grevillea robusta* em sistema silvipastoril permitiu aumentar a quantidade de nitrogênio na serapilheira e melhorar a fertilidade do solo.

A magnitude da contribuição dos resíduos na agregação e incorporação de material orgânico, tanto transitório quanto mais estável, vai depender do tipo de vegetação, composição de espécies e idade, que regulam a qualidade da serapilheira acumulada e sua velocidade de transformação (Warren and Zou, 2002; Assunção et al., 2019). Nesse sentido, embora o sistema CCB seja constituído de duas espécies, possui um espaçamento grande entre bananeiras, o que possivelmente está acarretando em uma menor diversidade de serapilheira depositada no solo e desenvolvimento de características semelhantes a um monocultivo.

Na área de FN, foram observados os maiores valores de massa de raiz na fração > 6 mm em relação 6-4 mm. Neste sistema, também foram observados maiores valores de massa de raiz em todas as classes de agregados, quando comparado com as áreas de cultivo de café, que não diferiram entre si. Diversos estudos têm comprovado que maior diversidade de espécies garante uma maior quantidade de raízes (Beniston et al., 2014; Morriën et al., 2017; Dinag et al., 2017). Além disso, as raízes desempenham importante papel na formação de macroagregados e estocagem de COS e, por ser um sistema

florestal, estão presentes em maior quantidade na fração > 6 mm (Batista et al., 2013; Tisdal e Oades, 1982).

A contribuição relativa das classes de agregados mostrou diferenças entre os sistemas estudados. No SAF, foi verificada uma maior contribuição dos agregados > 6 mm (32,6%), enquanto no CCB e FN a classe com maior porcentagem foi a <2mm (35,55 e 53,40%, respectivamente). No CCB, após a fração < 2 mm, as classes com maior participação foram 6-4 e 4-2 mm (média de 23,7%), seguidas da fração > 6 mm (17,1%).

Ao comparar os sistemas quanto à distribuição das classes de agregados, o SAF se destacou na fração > 6 mm, apresentando maiores percentuais em relação à CCB e FN. Não foram verificadas diferenças para as áreas de cultivo de café, para a classe de 4-2 mm, porém, no CCB, observou-se maior valor em comparação à FN. Nesta última, foi verificada uma menor contribuição da fração de 6-4 mm, em comparação aos demais sistemas, e maior da classe < 2 mm, seguida do CCB e SAF, que também diferiram entre si.

Vários fatores podem estar comandando o processo de formação de agregados e estruturação dos solos em questão, dentre os quais estão a possível ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem e a atuação dos organismos do solo. Alguns estudos têm confirmado um aumento da taxa de agregação do solo, quando submetido a ciclos de umedecimento e secagem, entretanto, os resultados a respeito da sua estabilidade são controversos já que esses processos envolvem mais fatores além da própria umidade, como teor de argila e matéria orgânica do solo (Richardson et al., 1976; Hofman et al., 1976), e a origem do agregado, existindo, por exemplo, espécies de minhocas e de fauna edáfica compactadoras e descompactadoras (Blanchart et al., 1997; Barros et al., 2004). A desidratação dos agentes cimentantes tende a aumentar a estabilidade dos agregados, quando esse material é rico em argila e matéria orgânica, uma vez que estes elementos tendem a ficar unidos mesmo sem a presença de água, enquanto forças destruidoras aumentam à medida que há inexistência desses elementos e a secagem se acentua, embora a secagem usualmente cause a redução da estabilidade em água (Russel, 1938; Horn e Dexter, 1989). Isso ocorre porque a superfície dos minerais sem a presença de material orgânico e argila que cimentam as partículas, facilmente se separam e, com isso, qualquer um dos efeitos pode predominar, dependendo da natureza dos agregados e da taxa de umedecimento. Conforme discutido anteriormente, a avaliação dos agregados via seca adotada neste estudo não possibilita interpretações quanto à estabilidade da agregação, uma vez que esses agregados estudados podem se desfazer em presença de água. Por sua

vez, o microclima mais estável e menores variações de temperatura e umidade, típico de ambientes nativos (Beldini et al., 2010; Nascimento et al., 2021), poderiam propiciar a formação de agregados com mais estabilidade, embora de menor tamanho.

Fatores de origem biogênica também podem estar condicionando o processo de formação de agregados e estruturação dos solos em questão, uma vez que estudos têm mostrado uma grande capacidade dos solos, sob sistemas agroflorestais e consorciados, em formar pequenos e grandes agregados pela ação da fauna (Rodriguez, 2021). Em concordância com essa hipótese, a maior proporção dos agregados encontrados, particularmente no SAF (74% do total) e CCB (64% do total), foram de tamanho > 2 mm (macroagregados), que frequentemente são de origem zoológica (Bal, 1982; Velásquez et al., 2007).

### 4.3 Macrofauna Edáfica

Foram identificados 16 grupos taxonômicos da fauna edáfica, verificando-se diferenças significativas entre os sistemas estudados. Nos sistemas CCB e SAF, foram verificados os menores valores de riqueza total e número de grupos exclusivos, quando comparados ao sistema nativo utilizado como referência (Tabela 4).

**Tabela 4** – Densidade, riqueza e índices de diversidade da macrofauna edáfica em sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta* (SAF), consórcio de café com banana (CCB) e floresta nativa (FN)

Grupo taxonômico (nome comum)	SAF	CCB	FN
	----- indivíduos m <sup>-2</sup> -----		
Acari (carrapatos)	4 a	0	4 a
Araneae (aranhas)	2,7 b	8 ab	18,7 a
Blattodea (baratas)	1,3 a	2,7 a	0
Chilopoda (centopéias)	0	6,7 ab	32 a
Coleoptera (besouros)	1,3 b	18,7 a	20 a
Larva Coleoptera	2,7 a	8 a	22,7 a
Diplopoda (gongolos)	0	6,7 ab	28 a
Diptera (moscas)	0	1,3 a	0
Larva Diptera	16 a	9,3 a	40 a
Formicidae (formigas)	30,7 b	86,7 ab	89,3 a
Hymenoptera (vespas)	1,3 a	5,3 a	5,3 a
Isopoda (tatuzinhos)	1,3 b	0	17,3 a
Isoptera (cupins)	25,3 b	146,7 ab	558,7 a

Larva Lepidoptera (mariposas, borboletas)	9,3 a	14,67 a	6,7 a
Oligochaeta (minhocas)	225,3 a	113,3 ab	81,3 b
Symphyla	0	0	1,3 a
Total	321,3 b	428 ab	925,3 a
Riqueza Média	4,42 b	5,25 b	7,75 a
Riqueza Total	12	13	14
H'	1,66	2,54	2,20
J	0,46	0,69	0,58

H' – Índice de Shannon; J – índice de equitabilidade de Pielou. Letras iguais na linha, que comparam os sistemas, não diferem entre si pelo teste Kurskal-Wallis a 5% de significância.

Os resultados inferiores de riqueza, nos sistemas de cultivo, podem estar relacionados à menor cobertura vegetal, diversidade e quantidade de serapilheira (Tabela 1) que limita a disponibilidade de abrigo e variedade de recursos alimentares e altera o nicho ecológico dos organismos do solo (Assunção et al., 2019; Nascimento et al., 2021). Isso propicia um meio específico para determinadas comunidades e reduz a diversidade da fauna do solo (Nascimento et al., 2021). Por sua vez, o ambiente de floresta nativa é menos sujeito a variações de temperatura e umidade e biologicamente mais complexo, o que se reflete em maior quantidade e diversidade de recursos e nichos disponíveis (Wirth et al., 2008; Riutta et al., 2016; Barbosa et al., 2017) e, como consequência, em uma condição mais favorável à sobrevivência dos organismos do solo.

O CCB e a FN se assemelharam quanto à densidade das ordens Araneae, Coleoptera, Isoptera e Isopoda, da classe Chilopoda, e da família Formicidae, que apresentaram menores abundâncias no SAF. A atividade da fauna é diretamente influenciada pelas características das espécies que compõem o sistema, como o volume e composição da serapilheira. Entretanto, é possível que a utilização de fertilizantes inorgânicos no CCB tenha promovido uma maior densidade de indivíduos da fauna pela disponibilização rápida de nutrientes e influência no crescimento das plantas, retorno de resíduos e rizodeposição. Em consonância com isso, Ribeiro et al. (2014), ao estudarem a influência da adubação mineral na fauna edáfica de uma área reflorestada com a leguminosa *Acacia auriculiformis*, observaram que a fertilização resultou em aumento na densidade de saprófagos e predadores (principalmente Chilopoda).

O SAF, por sua vez, apresentou maior densidade de indivíduos da subclasse Oligochaeta, em relação à FN. As agroflorestas geralmente exercem efeito positivo na

ocorrência de minhocas, não apenas pela proteção oferecida pela cobertura vegetal (árvores), que afeta a temperatura e a umidade do solo, mas também pela diversificação nas fontes de matéria orgânica adicionada ao solo (Briones e Schmidt, 2017; Brown et al., 2009). No caso particular do SAF estudado, outro fator que pode ter favorecido o aumento da densidade de minhocas é a adição de adubação orgânica de manutenção, realizada anualmente, já que a aplicação de esterco pode aumentar as populações de minhocas (Alencar et al., 2016). Apesar de ter sido implantado com a utilização de métodos convencionais, o CCB já possui mais de 20 anos de estabelecimento, sem que haja maiores interferências, o que promove características edáficas semelhantes ao sistema mais conservacionista e, por isso, manteve alta densidade de minhocas.

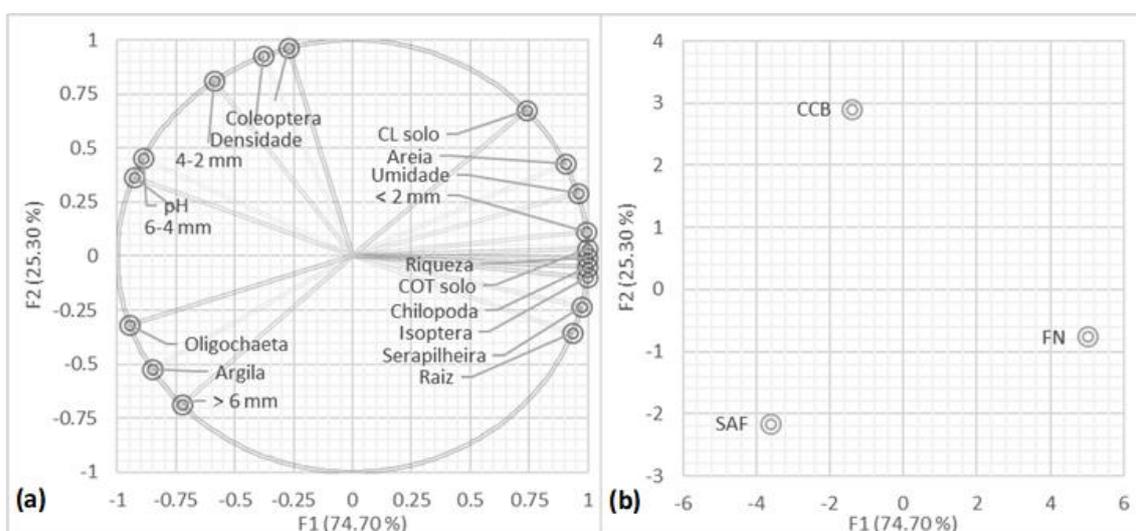
Ao analisar a presença e ausência de grupos da fauna (Tabela 2), observou-se que o grupo Symphyla ocorreu exclusivamente na FN, assim como grupo Diptera ocorreu apenas no CCB (Tabela 2). Symphyla são predadores e detritívoros que habitam na serapilheira e camadas superficiais do solo (Swift i, 2010). Sendo assim, sua ocorrência apresenta boa relação com a quantidade e qualidade dos resíduos depositados, o que explica a presença desse grupo somente na FN.

Os grupos Isopoda e Acari estiveram ausentes no CCB, enquanto os grupos Diplopoda e Blattodea não foram encontrados no SAF e FN, respectivamente. A ausência dos Isopodas e Acari e Diplopodas, nos sistemas de cultivo de café, pode estar relacionada ao fato desses organismos serem fitófagos e decompositores mais voltados para a decomposição e quebra da serapilheira, uma vez que a interferência antrópica na conversão de sistemas naturais diminui a quantidade e diversidade de serapilheira disponíveis (Parron et al., 2015).

A respeito dos índices de diversidade de Shanon e equitabilidade de Pielou, resultados mais expressivos foram observados no CCB em relação à FN. É provável que a alta densidade de cupins (Isoptera) na FN tenha contribuído para redução da equabilidade e maior dominância nesse sistema. Quanto maior a densidade de fauna do solo em um determinado sistema, maior será a chance de algum grupo estar predominando, já que a diversidade de espécies está associada a uma relação entre número de espécies (riqueza de espécies) e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies (Walker, 1989).

#### 4.4 Fauna, agregados e carbono

A análise conjunta dos dados por meio da ACP mostrou que a riqueza da fauna, as minhocas, cupins e centopeias, proporção de classes de agregados < 2 mm e 6-4 mm, teores de carbono orgânico total e lábil, argila, umidade e pH foram as principais variáveis responsáveis pela explicação da variação dos dados ao longo do componente principal 1 (CP1= 74,7%) (Figura 5). Por sua vez, a densidade do solo, a proporção da classe de agregados de 4-2 mm e o grupo dos besouros foram os atributos mais associados ao componente principal 2 (CP2), que explicou 25,3% da variação nos dados.



**Figura 5** – Diagramas de ordenação produzidos pela análise de componentes principais da riqueza da macrofauna edáfica, o grupo dos Oligochaetas, carbono total e lábil do solo, pH, umidade, densidade, massa de raiz, argila e porcentagem das classes de agregados no sistema de agroflorestal (SAF), consórcio de café com banana (CCB) e floresta nativa (FN), sendo (a) distribuição das variáveis e (b) distribuição dos sistemas.

A dispersão gráfica dada pela ACP, apresentada em duas dimensões, mostrou alta dissimilaridade entre os sistemas estudados: a floresta nativa localizou-se no quadrante inferior direito, mais associada ao COS, à riqueza média da macrofauna, aos cupins, centopeias, massa de raiz e serapilheira, umidade do solo e agregados < 2 mm (Figura 5). Isso indica que o ambiente nativo, ao promover maiores entradas de serapilheira e maior acúmulo de carbono no solo, estaria favorecendo a ocorrência de grupos detritívoros e predadores pela maior abundância de recursos alimentares para os organismos do solo (Zhu and Zhu, 2015). Além disso, apesar de apresentar menor classe de tamanho de macroagregados, estudos relatam que macroagregados biogênicos, especificamente aqueles derivados de raízes, apresentaram maior teor de COS, estando associado à rizodeposição (Baumert et al., 2018). Este tipo de carbono derivado das raízes é ainda

mais estável do que o da serapilheira (Katterer et al., 2011) e talvez tenha contribuído fortemente para a maior associação do carbono lábil e total à FN.

A ACP também demonstrou dissimilaridade entre os sistemas de cultivo de café que estiveram posicionados em quadrantes opostos em relação ao eixo 2 da ACP. O CCB ficou mais associado a macroagregados intermediários (6-4 e 4-2 mm), pH, densidade do solo e aos besouros. Esse sistema também apresentou melhor distribuição dos diferentes tamanhos de agregados (Tabela 3). Pinto et al. (2018), ao estudar agregados de 9,7 e 8 mm, observaram participação significativa de agregados biogênicos e fisiogênicos em sistemas de café a pleno sol e em consórcio com planta arbórea, o que demonstra a capacidade do sistema cafeeiro em promover a agregação do solo, corroborando os resultados encontrados no presente estudo. Em consonância com essa explicação, Rodriguez et al. (2021) observaram uma melhor distribuição dos diferentes tamanhos de macroagregados em plantios consorciados.

O SAF, por sua vez, apresentou maior associação com as minhocas, teor de argila e agregados > 6 mm, indicando relação positiva entre essas variáveis. Essa relação indica a provável predominância da ocorrência do processo biogênico de formação de agregados nesse sistema. As minhocas são engenheiras do ecossistema, atuando direta e indiretamente na regulação de recursos disponíveis a outros animais (Jones et al., 1994). Esse grupo recebe este nome por formarem estruturas biogênicas que são os poros, galerias e coprólitos, que desencadeiam a macroagregação. Estima-se que as mesmas excretam entre uma e trinta vezes o seu peso por dia (Lee, 1985). Segundo Lavelle (1978), as minhocas são o principal responsável pela produção de macroagregados nos primeiros 15 cm do perfil do solo e esse processo de agregação biogênica tende a se intensificar quando o solo apresenta matéria orgânica e maior quantidade de partículas menores da fração mineral, especialmente argila (Harris et al., 1966), talvez por essas partículas estarem no limite de tamanho que as minhocas consigam ingerir (Jouquet et al., 2008).

No Brasil, o uso de comunidades de minhocas como bioindicadores tem sido explorado em várias publicações (Uzêda et al., 2007; Andréa, 2010; Bartz et al., 2010; Fernandes et al., 2010; Lima e Brussaard, 2010). Inclusive, existe uma classificação de qualidade do solo baseada nesse grupo (Bartz et al., 2013) que considera a riqueza e abundância desses invertebrados em áreas de plantio direto. Esses autores observaram que a densidade de minhocas foi positivamente relacionada à soma de bases, mas negativamente associada aos teores de matéria orgânica do solo, o que corrobora a ACP do presente estudo, na qual a quantidade de minhocas apareceu em lado oposto aos teores

de COS e CL do solo, provavelmente pela vegetação nativa ter mais MOS, mas menor abundância de minhocas.

Ao analisar a formação de macroagregados fisiogênicos e biogênicos em diferentes sistemas agroflorestais e floresta secundária, Rodriguez et al. (2021) observaram que, em sistemas que utilizam componente arbóreo para sombreamento, assim como o SAF estudado, os macroagregados biogênicos de maior tamanho representaram grande proporção da massa total do solo (58,8 %). Nos cafezais avaliados no presente estudo, os macroagregados biogênicos representaram maior proporção em relação ao total do que na floresta, provavelmente devido à maior abundância de minhocas.

## 5 CONCLUSÃO

O SAF e o CCB apresentaram maior quantidade de agregados de maior tamanho (> 6, 6 – 4 e de 4-2 mm) do que a floresta nativa, entretanto, isso não foi reflexo de uma maior quantidade de carbono, o que indica que outros mecanismos atuaram na formação dos agregados, como a ação de minhocas, presentes em maior proporção nos cafezais do que na vegetação nativa. Assim, maiores quantidades de raízes e carbono nos agregados, como observado na floresta nativa, não implicou em maior quantidade de agregados (> 2 mm).

O SAF mostrou-se mais favorável à manutenção de frações lábeis da matéria orgânica do solo do que o CCB, com maiores índices de labilidade, como resultado da adição de resíduos orgânicos na manutenção do cultivo e ainda do manejo de poda das árvores. No entanto, o CCB foi o sistema que propiciou condições mais favoráveis à comunidade da macrofauna do solo, se aproximando mais da floresta nativa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addinsoft (2019). XLSTAT statistical and data analysis solution. Boston, USA. <https://www.xlstat.com>. Version 19.2.2.

Alencar, A. P.; Netto, A. J.; Nogueira, B. D. Efeito de substratos na produção e multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826). **Revista Acta Kariri-Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, 2016.

Anderson J.M.; Ingram JSI. **Tropical soil biology and fertility**. Wallingford: CAB international, 1989.

Andréa, M.M. de. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. **Acta Zoológica Mexicana**. v.26, p.95- 107, 2010. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262880>.

Angers, D.A.; Mehuys, G.R., Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 69, n. 2, p. 373-380, 1989. <https://doi.org/10.4141/cjss89-037>.

Assunção, S.A.; Pereira, M.G.; Rosset, J.S.; Berbara, R.L.L.; García, A.C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, p.901-911, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>.

Ávila, G.; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M.; Ibrahim, M. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales em sistemas agroforestales em Costa Rica. **Agroforestales América**, v.30, p.32-41, 2019. <http://hdl.handle.net/11554/5765>.

Bal, L. **Zoological ripening of soils**. Wageningen, The Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1982.

Balesdent J.; Derrien D.; Fontaine S.; Kirman S.; Klumpp K.; Loiseau P.; Marol C.; Nguyen C.; Péan M.; Personi E. Robin C. Contribution de la rhizodéposition aux matières organiques du sol, quelques implications pour la modélisation de la dynamique du carbone. **Etude et Gestion des Sols**, v. 18, n. 3, p. 201-216, 2011. <https://hal.inrae.fr/view/index/identifiant/hal-02650492>.

Barbosa, V.; Barreto-Garcia, P.; Gama-Rodrigues, E.; Paula, A. Biomass, carbon and nitrogen in the accumulated litter of planted and native forests. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.024315>.

Barreto, P.A.B.; Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C.; Fontes, A.G., Polidoro, J.C.; Moço, M.K.S.; Machado, R.C.R.; Baligar, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry systems**, v. 81, n. 3, p. 213-220, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9300-4>.

Barros, M. E.; Grimaldi, M.; Sarrazin, M.; Chauvel, A.; Mitja, D.; Desjardins, D.; Lavelle, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazonia. **Applied Soil of Ecology**, 2004. 26, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.012>.

Bartz, M.L.C.; Brown, G.G.; Pasini, A.; Mello, I.; Bortoluzzi, J.; Tamiozzo, T.; Pilecco, O.P.; Lutz, R.A. De T. **Minhocas como bioindicadores de qualidade do sistema plantio direto na palha**. In: Encontro Latino-Americano De Ecologia E Taxonomia De Oligoquetas, 4., 2010, Curitiba. Minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas: anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 199). Editores: George Gardner Brown, Cíntia Carla Niva, Klaus Dieter Sautter, Amarildo Pasini, Mac A. Callaham Jr. e Renato Marques. ELAETAO 4.

Batista, I.; Correia, M. E. F.; Pereira, M. G.; Bieluczyk, W.; Schiavo, J. A.; de Mello, N. A. Aggregates characterization of soils under cultivation in cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1535-1548, 2013. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1535>.

Baumert, V.L.; Schmidt, H.; Hallett, P.; Zwieten, L.V.; Vasilyeva, N.A.; Vladimirov, A.A.; Meier, I.C.; Kogel-Knabner, I.; Mueller, C.W. Root exudates induce soil macroaggregation facilitated by fungi in subsoil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, p. 140, 2018. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00140>.

Beldini, T.P.; McNabb, K.L.; Lockaby, B.G.; Sanchez, F.G. The effect of Amazonian Eucalyptus plantations on soil aggregates and organic matter density fractions. **Soil use and management**, v. 26, n. 1, p. 53-60, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00248.x>.

Beniston, J.W.; DuPont, S.T.; Glover, J.D.; Lal R.; Dungait, J.A.J. Soil organic carbon dynamics 75 years after land-use change in perennial grassland and annual wheat agricultural systems. **Biogeochemistry**, v. 120, n. 1, p. 37-49, 2014. doi: <https://doi.org/10.1007/s10533-014-9980-3>.

Binkley, D.; Fisher, R. F. **Ecology and management of forest soils**. John Wiley & Sons, 5ª ed. Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, 2019. 440p.

Blair, G. J.; Lefroy, R. D. B.; Lisle, L.; Leanne. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian journal of agricultural research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. <https://doi.org/10.1071/ar9951459>

Blair, N.; Faulkner, R.D.; Till, A.R.; Poulton, P.R. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 91, n. 1-2, p. 30-38, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.002>.

Blanchart, E.; Lavelle, P.; Braudeau, E.; Le Bissonnais, Y.; Valentin, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid Savannas of Côte d'Ivoire. *Soil Biol Biochem* 29:431-439. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00042-9)

Bongiorno, G.; Bünemann, E.K.; Oguejiofor, C.U.; Meier, J.; Gort, G.; Comans, R.; Mäder, P.; Brussaard, L.; Goede, R. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 38-50, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>.

Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., Peng, X., Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118-124, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007>

BRASIL. Resolução nº 1, de 31 de janeiro de 1994. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Brasília. 02/02/1994. p. 07.567-07.568, 1994.

Brasileiro, S.; Mesquita, B.; Silva, M.; de Lima, A. J.; Herszkowicz, N.; Matos, M. A.; Kawasaki, P. A. C. Caderno especial: cadeia produtiva do café. **Agroanalysis**, p. 24-36, 2016.

Briones, M.J.I.; Schmidt, O. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. **Global Change Biology**, v.23, p.4396-4419, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13744>.

Bronick, C. J.; Lal, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

- Brown, G.G.; Maschio, W.; Froufe, L.C.M. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos Municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR. **Embrapa Florestas-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009. 184p.
- Brown, V.; Barbosa, F. T.; Bertol, I.; Mafra, Á. L.; Muzeka, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 4 5501-5507, 2018. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5501>.
- Brussaard, L.; Pulleman, M. M.; Ouedraogo, E.; Mando, A.; Six, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia**, Jena, v. 50, n. 6, p. 447-462, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2006.10.007>.
- BSCA - Associação Brasileira De Cafés Especiais -. **Lista de verificação sistemas de gestão sócio-ambiental**. Anexo RA. 0552.04, ver. 01. 2005.
- Caixeta, G. Z. T.; Teixeira, S. M. Economicidade e certificação da cafeicultura familiar na Zona da Mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, pp. 317-329. 2009.
- Caproni, A. L.; Granha, O. D. R. J.; Souchie, E. L.; Figueira, A. F.; Oliveira, A. C. S. Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 3, 2011.
- Carvalho, J. L. N.; Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; Mello, C. R.; Cerri, C. E. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010. <https://doi.org/10.1590/s010006832010000200001>.
- Christensen, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European journal of soil science**, v. 52, n. 3, p. 345-353, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00417.x>.
- Clemmensen, K. E.; Finlay, R. D.; Dahlberg, A.; Stenlid, J.; Wardle, D. A.; Lindahl, B. D. Carbon sequestration is related to mycorrhizal fungal community shifts during long-term succession in boreal forests. **New Phytologist**, v. 205, n. 4, p. 1525-1536, 2015. <https://doi.org/doi:10.1111/nph.13208>.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café. Monitoramento agrícola - Safra 2020**, v.5 nº6, 2020.
- Costa, N. R.; Andreotti, M.; Lopes, K. S. M.; Yokobatake, K. L.; Ferreira, J. P.; Pariz, C. M.; Bonini, C. S. B.; Longhini, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18 v.39, p.852-863, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>.
- Culman, S.W.; Snapp, S.S.; Freeman, M.A.; Schipanski, M.E.; Beniston, J.; Lal, R.; Drinkwater, L.E.; Franzluebbers, A.J.; Glover, J.D.; Grandy, A.S.; Lee, J.; Six, J.; Maul, J.E.; Mirsky, S.B.; Spargo, J.T.; Wander, M.M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 2, p. 494-504, 2012. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0286>.
- Davis, A. P.; Tosh, J.; Ruch, N.; Fay, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the**

- Linnean Society**, v. 167, n. 4, p. 357-377, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.
- Denardin, R. B. N.; Mattias, J. L.; Do Prado Wildner, L.; Nesi, C. N.; Sordi, A.; Kolling, D. F.; Busnello, F.J.; Cerutti, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó - SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509813323>.
- Dieckow, J.; Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J. **Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono**. In: Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, Brazil, 2004. 17 pp.
- Dindal, D. **Soil biology guide**. New York: Ed. John Wiley and Sons; 1990.
- Diniz, A.R.; Pereira, M.G.; Balieiro, F.C.; Silva, E.V.; Santos, F.M.; Oliveira, A.B.; Cruz, R.B. Frações da matéria orgânica do solo em plantios clonais de seringueira em regiões costeiras do Brasil. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v.114, n.1, p.106-114, 2015.
- Dossa, E. L.; Fernandes, E. C. M.; Reid, W. S.; Ezui, K. Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforest Systems**, v.7, p.103-115, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9075-4>.
- FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Agricultura climaticamente inteligente**. 2ª ed. Roma, Italia, 2018. 60 P.
- Fernandes, J. O.; Uehara-Prado, M.; Brown, G. G. Minhocas exóticas como indicadoras de perturbação antrópica em áreas de Floresta Atlântica. **Acta Zoológica Mexicana**, v.26, p.211-217, 2010. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262889>.
- Forero, S. P.; Santos, L. N. S.; Castañeda, H. J. A.; Madrigal, M. A. S. Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. **Revista de investigación Agraria y Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 121-134, 2018. <https://doi.org/10.22490/21456453.2312>.
- Frouz, J. Effects of soil macro-and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. **Geoderma**, v. 332, p. 161-172, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039>.
- Frouz, J.; Šimek, M. Short term and long term effects of bionid (Diptera: Bibionidae) larvae feeding on microbial respiration and alder litter decomposition. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 2, p. 192-197, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.09.012>.
- Garedew, W.; Hailu, B. T.; Lemessa, F.; Pellikka, P.; Pinard, F. Coffee Shade Tree Management: An Adaptation Option for Climate Change Impact for Small Scale Coffee Growers in South-West Ethiopia. In: Leal Filho, W., Belay, S., Kalangu, J., Menas, W., Munishi, P., Musiyiwa, K. (Eds), **Climate Change Adaptation in Africa. Climate Change Management**. Springer, Cham, 2017. 647–659 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49520-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49520-0_40).
- Grandy, A.S.; Wieder, W.R.; Wickings, K.; Kyker-Snowman, E. Beyond microbes: Are fauna the next frontier in soil biogeochemical models?. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 102, p. 40-44, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.008>.

- Guo, J.; Wang, B.; Wang, G.; Wu, Y.; Cao, F. Vertical and seasonal variations of soil carbon pools in ginkgo agroforestry systems in eastern China. **Catena**, v. 171, p. 450-459, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.032>.
- Hamer, U.; Potthast, K.; Makeschin, F. 2009. Urea fertilisation affected soil organic matter dynamics and microbial community structure in pasture soils of Southern Ecuador. **Applied Soil Ecology**, v. 43, n. 2-3, p. 226-233, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.001>.
- Harris, R. F.; Chesters, G.; Allen, O.N. Dynamics of soil aggregation. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, 1966. 107-169 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60649-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60649-5).
- Hayes, M. H. B.; Swift, R. S. The chemistry of soil organic colloids. In: Greenland, D. J.; Hayes, M. H. B. (Ed.). **The chemistry of soil constituents**. Chichester: Wiley, 1978, p. 179–320.
- Hergoualc'h, K.; Blanchart, E.; Skiba, U.; Hénault, C.; Harmand, J. M. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 102-110, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.018>.
- Hofman, G. The influence of drying and storing soil samples on aggregate instability. **Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent**, 1976, 41: p.101-106,.
- Horn, R.; Dexter, A. R. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. **Soil and Tillage Research**, v. 13, n. 3, p. 253-266, 1989. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(89\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(89)90002-0).
- IBGE - Instituição Brasileira de Geografia e Estatística – **Censo, 2010**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/planalto/panorama>>. Acesso em: 15 novem. 2019.
- IBGE, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.
- Inkotte, J.; Martins, R. C. C.; Scardua, F. P.; Pereira, R. S. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, 2019. p. 988-1003. <https://doi.org/10.5902/1980509827982>.
- Jaramillo-Botero, C.; Santos, R. H. S.; Fardim, M. P.; Pontes, T. M.; Sarmiento, F. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.869-877, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000500012>.
- Jobbágy, E. G.; Jackson, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological applications**, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000. [https://doi.org/10.1890/10510761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/10510761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2).
- Jones, C. G.; Lawton, J. H.; Shachak M. Organisms as ecosystem engineers. In: **Ecosystem management**. Springer, New York, NY, 1994. p. 130-147. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14).
- Jouquet, P.; Hartmann, C.; Choosai, C.; Hanboonsong, Y.; Brunet, D.; Montoroi J. Different effects of earthworms and ants on soil properties of paddy fields in North-East

Thailand. **Paddy and Water Environment**, v. 6, n. 4, p. 381-386, 2008.  
<https://doi.org/10.1007/s10333-008-0134-x>.

Kaneda, S.; Frouz, J.; Baldrian, P.; Cajthaml, T.; Křišťůfek, V. Does the addition of leaf litter affect soil respiration in the same way as addition of macrofauna excrements (of *Bibio marci* Diptera larvae) produced from the same litter?. **Applied soil ecology**, v. 72, p. 7-13, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.011>.

Katterer, T.; Bolinder, M.A.; Andr'én, O.; Kirchmann, H.; Menichetti, L.; Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 141, n. 1-2, p. 184-192, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2011.02.029>.

Khorramdel, S.; Koocheki, A.; Mahallati, M. N.; Khorasani, R.; Ghorbani, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 25-31, 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.008>.

Kravchenko, A.N.; Guber, A.K., Soil pores and their contributions to soil carbon processes. **Geoderma**, v. 287, p. 31-39, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2016.06.027>.

Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.  
<https://doi.org/10.1126/science.1097396>.

Lange, M.; Eisenhauer, N.; Sierra, C.A.; Bessler, H.; Engels, C.; Griffiths, R.I.; Mellado-Vázquez, P.G.; Malik, A.A.; Roy, J.; Scheu, S.; Steinbeiss, S.; Thomson, B.C.; Trumbore, S.E.; Gleixner, G. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature communications**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2015.  
<https://doi.org/10.1038/ncomms7707>.

Lavelle P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**; v. 27, p. 93-132, 1997.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0).

Lavelle P. Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte de d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. **Publication du Laboratoire de Zoologie**. v.12, p. 1-301, 1978.

Lavelle, P.; Bignell, D.; Heal, O. W.; Lepage, M.; Roger, P.; Dhillion, S. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. **Soil Science**, v. 181, n. 3/4, p. 91-109, 2016.  
<https://10.1097/SS.0000000000000155>.

Lavelle, P.; Martin, A. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 12, p. 1491-1498, 1992. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90138-N](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90138-N).

Lee, K. E. **Earthworms: their ecology and relationships with soil and land use**. Academic Press. New York, 1985. 411 p.

Lima, A. R.; Pereira, R. G. F. A.; Abrahão, S. A.; Duarte, S. M. D. S.; Paula, F. B. D. A. Compostos bioativos do café: atividade antioxidante in vitro do café verde e torrado

- antes e após a descafeinação. **Química Nova**, v.33, n.1, p.20-24, 2010.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100004>.
- Lima, A.C.R.; Brussaard, L. Earthworms as soil quality indicators: local and scientific knowledge in rice management systems. **Acta Zoológica Mexicana**, v.26, p.109-116, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262881>.
- LiuSui, Y.; Zhu, X.; Li, D.; Yan, C.; Sun, T.; Jia, H.; Zhao, X. Soil aggregate and intra-aggregate carbon fractions associated with vegetation succession in an alpine wetland of Northwest China. **Catena**, v. 181, p. 104107, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104107>.
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Costa, E.M.; Beutler, S.J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N abundance in biogenic and physiocogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, n. 7, p. 685-697, 2014. DOI:10.1071/SR14045
- Lou, Y.; Xu, M.; Wang, W.; Sun, X.; Liang, C. Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse vegetables. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 2, p. 163-169, 2011.  
<https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00325.x>.
- Maestri, R., Leite, M.A.S., Schmitt, L.Z., Restello, R.M. Efeito de mata nativa e bosque de eucalipto sobre a riqueza de artrópodos na serrapilheira. **Perspectiva**, v. 37, p. 31-40, 2013.
- MAPA - Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Vegetal: Culturas Café. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- Marques, D. M.; Silva, A. B.; Silva, L. M.; Moreira, E. A.; Pinto, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 5, p. 1588-1597, Sept./Oct. 2014.
- Matta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485-510, 2007.  
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>.
- Mello, N. A.; Cécillon, L.; Brun, J. J. Formação e propriedades de Macroagregados de um solo alpino sob três tipos de vegetação nativa. **Reunião Brasileira De Manejo E Conservação Do Solo E Da Água: No Contexto Das Mudanças Ambientais**, 2008, v. 27, p. 112-115.
- Melo, F. V.; Brown, G. G.; Constatino, R.; Louzada, J. N. C.; Luizão, F. J.; Morais, J. W.; Zanetti, R. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. In: **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Alvarez, V. H. V.; Cantaruti, R. B.; Novais, R. F. (Orgs.). Viçosa, MG, 2009. p. 38-43. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/428233>. Acesso em junho de 2021.
- Mendez-Millan, M.; Dignac, M. F.; Rumpel, C.; Rasse, D. P.; Derenne, S. Molecular dynamics of shoot vs. root biomarkers in an agricultural soil estimated by natural abundance <sup>13</sup>C labelling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 2, p. 169-177, 2010.  
<https://doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2009.10.010>.

Mendonça, V. Z. D.; Mello, L. M. M. D.; Andreotti, M.; Pereira, F. C. B. L.; Lima, R. C.; Valério Filho, W. V.; Yano, É. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 251-259, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100026>.

Monroe, P. H. M. **Estoque de carbono no solo em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia, Brasil**, 01 de abr. 2015. 83 p. Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Monroe, P.H.M., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues, A.C., Marques, J.R.B., Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 99-108, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.01.022>.

Morriën, E.; Hannula, S.E.; Snoek, L.B.; Helmsing, N.R.; Zweers, H.; Hollander, M.; Soto, R. L.; Bouffaud, M. L.; Buée, M.; Dimmers, W.; Duyts, H.; Geisen, S.; Girlanda, M.; Griffiths, R. I.; Jørgensen, H. B.; Jensen, J.; Plassart, P.; Redecker, D., Schmelz, R. M., Schmidt, O., Thomson, B. C., Tisserant, E., Uroz, S., Winding, A., Bailey, M. J., Bonkowski, M., Faber, J. H., Martin, F., Lemanceau, P., Boer, W., Van Veen, J. A., Van der Putten, W. H. Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses. **Nature communications**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1038/ncomms14349>.

Nascimento, M. S.; Barreto-Garcia, P. A. B.; Monroe, P. H. M.; Scoriza, R. N.; de Souza Gomes, V. Interaction between edaphic mesofauna and organic carbon within water-stable aggregates in forestry systems: A case study in northeastern Brazil. **Catena**, v. 202, p. 105269, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105269>.

Neto, F.V.C., Pereira, M.G., Leles, P.S. dos S., Abel, E.L. da S., 2018. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>.

Nwite, J. N.; Orji, J. E.; Okolo, C. C. Effect of different land-use systems on soil carbono storage and structural indices in Abakaliki, Nigeria. **Indian J Ecol**, v. 45, n. 3, p. 522-527, 2018.

Okolo, C. C.; Gebresamuel, G.; Zenebe, A.; Haile, M.; Eze, P. N. Accumulation of organic carbon in various soil aggregate sizes under different land use systems in a semi-arid environment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 297, p. 106924, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106924>.

Oliveira Filho, L.C.I.; Baretta, D.; Viapiana, C.M.; Santos, J C.P. Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n.1, p.55-64, 2015. <http://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5736>.

Oliveira, C. C.; Alvarenga, M. I. N.; Melloni, R.; Neto, J. N. P.; Pinheiro, L. B. A.; Melloni, E. G. P.; Madeira, C. L. 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.

Paiva, A. O.; Rezende, A. V.; Pereira, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 527-538, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300015>.

PARRON, Lucia Maria et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Colombo: Embrapa Florestas; Brasília: Embrapa, 2015. 370p.

Partelli, F. L.; Bonomo, R. **Café conilon: o clima e o manejo da planta**, Alegre, ES: CAUFES, 2016. 174 p.

Pedro, L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200026>.

Pequeno, P. D. L.; Regis, P. F.; Fiorelli-Pereira, E. C.; Schlindwein, J.; Caproni, A.; Locatelli, M. Comportamento da Macrofauna edáfica em diferentes modelos de arborização de cafeeiro Robusta (*Coffea canephora*) em Rondônia. In: **Embrapa Rondônia-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010. 1 CD-ROM., 2010.

Pereira, M. G.; Guareschi, R. F.; Pinto, L. A. S. R.; Matos, T. S.; Ferrari, A. C.; Silva, C. F. Matéria Orgânica Do Solo Em Áreas Com Cultivo De Erva-Mate E Aplicação De Dejeito Suíno. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 567-575, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v51i3.70954>.

Pimentel, M. S. **Indicadores da Qualidade do Solo em Sistema Orgânico de Café, Hortaliça, Pasto e Floresta, durante as Estações do Ano**. 11 de fev. de 2005. 116p. Tese (Doutorado em ciência – Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Soropédica, Rio de Janeiro.

Pinto, S. R. L. A.; Moura, O. V. T.; Rossi, C. Q.; Pereira, M. G.; Costa Barros, F. Evolution and accumulation of C-CO<sub>2</sub> in biogenic and physiogenic aggregates of different agroecological management systems. **Acta Agronômica**, v. 67, n. 4, p. 494-500, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v51i3.70954>.

Pompeo, P.N.; Oliveira Filho, L.C.I.; Klauberger Filho, O.; Mafra, A.L.; Baretta, C.R.D.M.; Baretta, D. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia Agraria**, v.17, n.1, p.16-28, 2016. <https://doi.org/10.5380/ufv.v51i3.70954>.

Pulleman, M.; Six, J., Uyl, A.; Marinissen, J.C.Y.; Jongmans, A.G. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, v. 29, n. 1, p. 1-15, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003>.

Purakayastha, T.J.; Rudrappa, L.; Singh, D.; Swarup, A.; Bhadraray, S. Long-term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize–wheat–cowpea cropping system. **Geoderma**, v. 144, n. 1-2, p. 370-378, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.006>.

- Radomski, M. I.; Ribaski, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema salvipastoril com *Grevillea robusta*. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, 2012. <https://doi:10.4336/2012.pfb.32.69.53>
- Ribeiro, L. P.; Gama-Rodrigues, E. F.; Moço, M. K. D. S.; Gama-Rodrigues, A. C. Influence of mineral fertilization on edaphic fauna in *Acacia auriculiformis* (A. Cunn) plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 39-49, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100004>.
- Rice, R. Fruits from shade trees in coffee: how important are they? **Agroforest Systems**, v.83, p. 41-49, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9385-4>.
- Richardson, S. J. Effect of artificial weathering cycles on the structural stability of a dispersed silt soil. **Journal of Soil Science**, v. 27, n. 3, p. 287-294, 1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1976.tb01998.x>.
- Riutta, T., Clack, H., Crockatt, M., & Slade, E. M. Landscape-scale implications of the edge effect on soil fauna activity in a temperate forest. **Ecosystems**, v. 19, n. 3, p. 534-544, 2016. <https://doi.org/doi:10.1007/s10021-015-9939-9>.
- Rosa, M.G.; Filho, O.K.; Bartz, M.L.C.; Mafra, A.L.; Sousa, J.P.F.A.; Baretta, D. 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/10.1590/01000683rbcbs20150033>.
- Rousseau, G. X.; Deheuvels, O.; Rodriguez Arias, I.; Somarriba, E. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: the potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 535-543, 2012. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolind.2012.05.008>.
- Rudrappa, L.; Purakayastha, T.J.; Singh, D.; Bhadraray, S. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid subtropical India. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 1-2, p. 180-192, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.05.008>.
- Sá Moraes, J. C.; Gonçalves, D. R. P.; Ferreira, L. A.; Mishrad, U.; Inagakie, T. M.; Furlan F. J. F.; Morog R. S.; Florianih N., Briedisf C.; Ferreira A. O. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 96-105, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.029>
- Sá, J.C.M.; Séguy, L.; Tivet, F.; Lal, R.; Bouzinac, S.; Borszowskei, P.R.; Briedis, C.; dos Santos, J.B.; da Cruz Hartman, D.; Bertoloni, C.G.; Rosa, J.; Friedrich, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2218>.
- Santos, H.G. dos; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C. dos; Oliveira, V.A. de; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A. de; Araujo filho, J.C. de; Oliveira, J.B. de; C. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em maio de 2021.

Schmidt, M. W. I.; Torn, M. S.; Abiven, S.; Dittmar, T.; Guggenberger, G.; Janssens, I. A.; Klever, M.; Kogel-knabner, I.; Lehman, J.; Manning, D. A. C.; Nannipieri, P.; Rasse, D. P.; Weiner, S.; Trumbore, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011. <https://doi.org/10.1038/nature10386>.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento da Bahia. Territórios de Identidade, 2018. Disponível em: [www.seplan.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17](http://www.seplan.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17). Acesso em: 20 junho. 2021.

Shang, C.; Tiessen, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, n. 11, p. 795-807, 1997. <https://doi.org/0.1097/00010694-199711000-00004>.

Silva, B. M.; Oliveira, G. C.; Serafim, M. E.; Silva, É. A.; Ferreira, M. M.; Norton, L. D.; Curi, N. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil & Tillage Research**. v.154, p. 103–113, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.013>.

Silva, D. C.; Morais Pereira, J.; Ortiz, D. C.; Oliveira Filho, L. C. I.; Pinto, L. V. A.; Baretta, D. 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>

Silva, F. M. D.; Alves, M. D. C.; Souza, J. C. S.; Oliveira, M. S. D. Efeitos da colheita manual na bionalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.625-632, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300014>.

Silva, J.; Jucksch, I.; Maia, C. I.; Feres, A. de Castro Tavares, R. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, n. 2, p. 59-71, 2012. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n2.silva>.

Silva, R. F. D.; Guimarães, M. D. F.; Aquino, A. M. D.; Mercante, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000023>.

Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

Spohn, M.; Giani, L. Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1081-1088, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.029>.

Stevenson, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, 1994.

Swift, M. J.; Bignell, D.; Moreira, F. M. D. S.; Huising, J. O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: Moreira, F.M.S.; Huising, E. J.; Bignell, D.E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Ed. UFLA. Lavras. 2010, 367p.

- Tavares, V. C.; Arruda, Í. R. P.; Silva, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>.
- Teixeira, A. F. R.; Silva, V. M. D. Mendonça, E. D. S. Fauna edáfica em sistemas arborizados de café conilon em solo de tabuleiros costeiros. **Coffee Science**; v.9, n.3, p. 385-393, 2014.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 2017, 573p.
- Thomazini, A., Azevedo, H. C. A., Pinheiro, P. L. Sá Mendonça, E. Indicadores participativos de qualidade do cafeeiro conilon e do solo em sistema agroflorestal e convencional. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>.
- Trentini, C.P.; Villagra, M.; Gomez P´ amies, D.; Bernava Laborde, V.; Bedano, J.C.; Campanello, P.I. Effect of nitrogen addition and litter removal on understory vegetation, soil mesofauna, and litter decomposition in loblolly pine plantations in subtropical Argentina. **Forest Ecology and Management**, v. 429, p. 133-142, 2018.. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.012>.
- Tschora, H.; Cherubini, F. Co-benefits and trade-offs of agroforestry for climate change mitigation and other sustainability goals in West Africa. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, p. e00919, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00919>.
- Uzêda, M.C.; Garcia, M.A.; Costa, J.R. Análise das relações entre populações de enchytraeidae e minhocas e seu uso como bioindicador da qualidade do solo. In: Brown, G.G.; Fragoso, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p.489- 495.
- Valentini, L. S. D. P.; Camargo, M. B. P. D.; Rolim, G. D. S., Souza, P. S., & Gallo, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizado com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.4, p. 1005-1010, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400028>.
- Van Groenigen, J.W.; Van Groenigen, K.J.; Koopmans, G.F.; Stokkermans, L. How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. **Geoderma**, v. 338, p. 525-535, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.11.001>.
- Vasconcellos, R. L.; Segat, J. C.; Bonfim, J. A.; Baretta, D.; Cardoso, E. J. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.07.001>.
- Vieira, F. C. B.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Dieckow, J.; Mielniczuk, Z. L. H. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104139>

- Villa, P.M., Martins, S.V., de Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Hernández, E.P., Kim, D.G. (2020). Policy forum: Shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: Premises for REDD+. **Forest Policy and Economics**, v. 118, p. 102217, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102217>.
- Villatoro, M. A. A. **Produção de café em sistema agroflorestal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 36p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos,187).
- Walker, D. Diversity and stability. In: Cherrett, J. M. (Ed.). **Ecological concepts**. Oxford, Blackwell Scientific Public, 1989, p.115- 146.
- Wang, Z.; Yin, X.; Li, X. Soil mesofauna effects on litter decomposition in the coniferous forest of the Changbai Mountains, China. **Applied Soil Ecology**, v. 92, p. 64-71, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.03.010>.
- Warren, M.W.; Zou, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 170, n. 1-3, p. 161-171, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00770-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00770-8).
- Wartenberg, A.C.; Blaser, W.J.; Gattinger, A.; Roshetko, J.M.; Van, M.; Six, J. Does shade tree diversity increase soil fertility in cocoa plantations?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 248, p. 190-199, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.033>.
- Wei, X.; Shao, M.; Gale, W. J.; Zhang, X.; Li, L. Dynamics of aggregate-associated organic carbon following conversion of forest to cropland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 876-883, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.020>.
- Wiesmeier, M.; Urbanski, L.; Hobbey, E.; Lang, B.; von Lützow, M.; Marin-Spiotta, E.; van Wesemael, B.; Rabot, E.; Ließ, M.; Garcia-Franco, N.; Wollschl"ager, U.; Vogel, H.-J.; Kogel-Knabner, I. Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, v. 333, p. 149-162, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.07.026>.
- Wirth, R.; Meyer, S.T.; Leal, I.R.; Tabarelli, M. Plant herbivore interactions at the forest edge. In: **Progress in botany**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 423-448. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-72954-9\\_17.4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72954-9_17.4)
- Xavier, F. A. S.; Maia, S. M. F.; Ribeiro, K. A.; Mendonça, E. S.; Oliveira, T. S. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 165, p. 73–183, 2013. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2012.12.003>.
- Yeomans, J.C.; Bremner, J.M., A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.
- Youkhana, A.; Idol, T. Addition of Leucaena-KX2 mulch in a shaded coffee agroforestry system increases both stable and labile soil C fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 961-966, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.011>.
- Zhang, H.; Tang, J.; Liang, S.; Li, Z.; Wang, J.; Wang, S. Early thawing after snow removal and no straw mulching accelerates organic carbon cycling in a paddy soil in Northeast China. **Journal of environmental management**, v. 209, p. 336-345, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.069>.

Zhu, X.; Zhu, B. Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 39-46, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.004>.

## ANEXOS

**Anexo 1** – Síntese geral sobre a macrofauna edáfica em sistemas de plantio de café nos ecossistemas brasileiros amostrados pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility Programme*.

<b>Autores</b>	Marques et al. (2014)	Silva et al. (2020)	Oliveira et al. (2016)
<b>Ano de coleta</b>	2011	2013	2009
<b>Mês de coleta</b>	Agosto	Novembro	Setembro
<b>Bioma</b>	Mata Atlântica	Mata Atlântica	Mata Atlântica
<b>Profundidade (cm)</b>	20	20	30
<b>Sistemas</b>	Café	Café	Café
<b>Número de Indivíduos</b>			
Annelida	6,4	528	104
Oligochaeta	6,4	528	104
Chelicerata	6,4	128	NA
Arachnida	6,4	128	NA
Aranae	NA	128	NA
Crustacea	0	NA	NA
Malacostraca	0	NA	NA
Isopoda	0	NA	NA
Hexapoda	76,8	2608	614,8
Entognatha	NA	NA	NA
Diplura	NA	NA	NA
Insecta	76,8	2608	614,8
Blattodea	0	NA	NA
Coleoptera	3,2	656	142,6
Dermaptera	NA	NA	NA
Diptera	NA	NA	NA
Hemiptera	0	NA	NA
Homoptera	0	NA	NA
Heteroptera	NA	NA	NA
Hymenoptera	57,6	992	432,9
Formicidae	NA	992	432,9
Isoptera	16	960	39,3
Lepidoptera	NA	NA	NA
Neuroptera	NA	NA	NA
Orthoptera	NA	NA	NA
Zygentoma	NA	NA	NA
Myriapoda	12,8	80	NA
Chilopoda	3,2	64	NA
Diplopoda	9,6	16	NA
Symphyla	NA	NA	NA
Mollusca	6,4	NA	NA
Gasteropoda	6,4	NA	NA
Total	108,8	3344	861,2
Riqueza Total	13	7	NA

<b>Autores</b>	Pimentel (2005)	Pimentel (2005)	Pimentel (2005)	Pimentel (2005)
<b>Ano de coleta</b>	2002	2002	2002	2002
<b>Mês de coleta</b>	Dezembro	Dezembro	Novembro	Novembro
<b>Bioma</b>	Mata Atlântica	Mata Atlântica	Mata Atlântica	Mata Atlântica
<b>Profundidade (cm)</b>	10	10	10	10
<b>Sistemas</b>	Café e feijão guandu	Café	Café e cânhamo	Café
<b>Número de Indivíduos</b>				
Annelida	82	6	0	2
Oligochaeta	82	6	0	2
Chelicerata	2	0	0	2
Arachnida	2	0	0	2
Aranae	2	0	0	2
Crustacea	24	2	6	0
Malacostraca	24	2	6	0
Isopoda	24	2	6	0
Hexapoda	258	438	110	66
Entognatha	2	0	0	0
Diplura	2	0	0	0
Insecta	256	438	110	66
Blattodea	6	4	0	0
Coleoptera	26	16	16	16
Dermaptera	0	0	0	0
Diptera	2	0	2	0
Hemiptera	NA	NA	NA	NA
Homoptera	0	0	0	0
Heteroptera	0	4	0	6
Hymenoptera	110	384	92	44
Formicidae	110	384	92	44
Isoptera	110	28	0	0
Lepidoptera	2	0	0	0
Neuroptera	NA	NA	NA	NA
Orthoptera	0	2	0	0
Zygentoma	NA	NA	NA	NA
Myriapoda	2	8	0	0
Chilopoda	0	0	0	0
Diplopoda	2	8	0	0
Symphyla	0	0	2	0
Mollusca	2	0	0	0
Gasteropoda	2	0	0	0
Total	370	454	116	70
Riqueza Total	20	17	19	19

<b>Autores</b>	Pequeno et al. (2010)	Pequeno et al. (2010)	Pequeno et al. (2010)
<b>Ano de coleta</b>	2009	2008	2009
<b>Mês de coleta</b>	Junho	Outubro	Junho
<b>Bioma</b>	Amazonia	Amazonia	Amazonia
<b>Profundidade (cm)</b>	10	10	10
<b>Sistemas</b>	Cafeeiro Robusta e seringueira	Cafeeiro Robusta, sobrasil e cupuaçu	Cafeeiro Robusta e Cupuaçu
<b>Número de Indivíduos</b>			
Annelida	0	25,6	0
Oligochaeta	0	25,6	0
Chelicerata	3,2	28,8	12,8
Arachnida	3,2	28,8	12,8
Aranae	3,2	28,8	12,8
Crustacea	NA	NA	NA
Malacostraca	NA	NA	NA
Isopoda	NA	NA	NA
Hexapoda	48	131,2	153,6
Entognatha	0	12,8	0
Diplura	0	12,8	0
Insecta	48	118,4	153,6
Blattodea	NA	NA	NA
Coleoptera	28,8	16	9,6
Dermaptera	3,2	41,6	48
Diptera	NA	NA	NA
Hemiptera	0	0	0
Homoptera	NA	NA	NA
Heteroptera	NA	NA	NA
Hymenoptera	9,6	51,2	86,4
Formicidae	NA	NA	NA
Isoptera	0	6,4	0
Lepidoptera	NA	NA	NA
Neuroptera	0	3,2	0
Orthoptera	6,4	0	9,6
Zygentoma	NA	NA	NA
Myriapoda	0	48	19,2
Chilopoda	0	0	0
Diplopoda	0	48	19,2
Symphyla	NA	NA	NA
Mollusca	0	0	0
Gasteropoda	0	0	0
Total	51,2	233,6	234,6
Riqueza Total	11	13	12

<b>Autores</b>	Caproni et al. (2011)	Pequeno et al. (2010)	Silva et al. (2005)
<b>Ano de coleta</b>	NA	2009	NA
<b>Mês de coleta</b>	Julho	Junho	NA
<b>Bioma</b>	Amazonia	Mata Atlântica	Amazônia
<b>Profundidade (cm)</b>	25	10	10
<b>Sistemas</b>	Café	Cafeeiro Robusta, teca, cupuaçu, bandarara, aroeira, itaúba, freijó louro	Arvores e plantios
<b>Número de Indivíduos</b>			
Annelida	0	0	0
Oligochaeta	0	0	0
Chelicerata	32	35,2	NA
Arachnida	32	35,2	NA
Aranae	32	35,2	NA
Crustacea	NA	NA	NA
Malacostraca	NA	NA	NA
Isopoda	NA	NA	NA
Hexapoda	560	182,4	128
Entognatha	32	0	NA
Diplura	32	0	NA
Insecta	528	182,4	128
Blattodea	0	NA	NA
Coleoptera	0	32	16
Dermaptera	16	6,4	NA
Diptera	NA	NA	NA
Hemiptera	NA	0	48
Homoptera	NA	NA	NA
Heteroptera	NA	NA	NA
Hymenoptera	416	140,8	64
Formicidae	NA	NA	64
Isoptera	96	3,2	NA
Lepidoptera	NA	NA	NA
Neuroptera	NA	0	NA
Orthoptera	NA	0	NA
Zygentoma	0	NA	NA
Myriapoda	0	0	NA
Chilopoda	0	0	NA
Diplopoda	0	0	NA
Symphyla	NA	NA	NA
Mollusca	NA	0	NA
Gasteropoda	NA	0	NA
Total	592	217,6	128
Riqueza Total	11	11	3