



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

**ORIGEM E ESTOQUES DE C E N EM AGREGADOS E SUA  
RELAÇÃO COM A MESOFAUNA DO SOLO EM SISTEMAS  
PRODUTIVOS DE CAFÉ**

**WALLESKA PEREIRA MEDEIROS DE OLIVEIRA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA – BRASIL**  
**2022**

**WALLESKA PEREIRA MEDEIROS DE OLIVEIRA**

**ORIGEM E ESTOQUES DE C E N EM AGREGADOS E SUA RELAÇÃO COM A  
MESOFAUNA DO SOLO EM SISTEMAS PRODUTIVOS DE CAFÉ**

Tese 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 obtenção do título de “Doutora”.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
2022

O48o Oliveira, Walleska Pereira Medeiros de.

Origem e estoques de C e N em agregados e sua relação com a mesofauna do solo em sistemas produtivos de café. / Walleska Pereira Medeiros de Oliveira, 2022.

98f.

Orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 90 – 96.

1. Cultivo do café. 2. Abundância natural. 3. Matéria orgânica do solo. 4. Estabilidade do carbono. 5. Modelo de equações estruturais. I. Barreto-Garcia, Patrícia Anjos Bittencourt. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Área de concentração Fitotecnia. III.T.

CDD 633.73

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

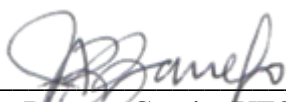
*Campus de Vitória da Conquista-BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título:** Origem e estoques de C e N em agregados e sua relação com a mesofauna do solo em sistemas produtivos de café

**Autora:** Walleska Pereira Medeiros de Oliveira

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



\_\_\_\_\_  
Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (UESB) D.Sc., Presidente (UESB)



\_\_\_\_\_  
Beata Eموke Madari, D.Sc., (EMBRAPA)



\_\_\_\_\_  
João Carlos Medeiros, D.Sc., (UFSB)



\_\_\_\_\_  
Steel Silva Vasconcelos, D.Sc., (EMBRAPA)



\_\_\_\_\_  
Paulo Henrique Marques Monroe, D.Sc., (UESB)

Data de realização: 30 de agosto de 2022.

*“Não desista nas primeiras tentativas. A persistência é amiga da conquista”.*

Bill Gates

Ao meu amado Deus;

Ao meu esposo Phablo Cabral e meu filho Pedro  
Medeiros;

Aos meus familiares.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar os meus passos e iluminar minha vida na qual, sem sua graça, jamais teria conseguido chegar até aqui;

À minha avó Maria do Socorro (*in memorian*), por ensinar a importância do estudo;

Ao meu marido Phablo Cabral de Oliveira, por todo companheirismo, apoio, incentivo e amor;

Ao meu filho Pedro Medeiros de Oliveira, que foi fonte de inspiração durante o decorrer do estudo;

Aos meus pais, Lita e José Walter, pelo amor, incentivo, os quais, mesmo distantes, sempre estiveram torcendo pelo meu sucesso;

Ao meu sogro Paulo José, minha sogra Maria das Graças e meus cunhados, por toda ajuda;

Ao meu irmão Walter Neto, pelas conversas, pelo carinho e palavras de incentivo;

À Prof<sup>a</sup> Dra. Patrícia Barreto-Garcia, a quem muito admiro pela competência profissional e como ser humano. Muito agradecida pela orientação, confiança, amizade, compreensão, pelo incentivo e por sempre compartilhar seu conhecimento;

Ao meu coorientador, Dr. Paulo Henrique Marques Monroe, pelas contribuições, pela disponibilidade, apoio, paciência, conselhos e, sobretudo, pela amizade;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB, pela concessão da bolsa de estudos;

À Universidade Estadual Sudoeste da Bahia e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional;

Às minhas queridas Maida, Flavia e Ariane, pelo companheirismo e por dividir tantas angústias, desesperos e risadas comigo. Adoro vocês. Agradeço, também, a Elismar, Tâmara e todos os colegas da Pós-graduação, por tornarem esse período mais confortável;

Ao grupo de pesquisa *Forest Soils*, em especial, Fabiano, Thaís e Maicon, pelo apoio e auxílio durante o desenvolvimento desta pesquisa;

À querida Priscila Matos, pela amizade, paciência, carinho e pelo suporte nas análises laboratoriais;

À Dra. Beata Eموke Madari, da Embrapa Arroz e Feijão, pela parceria e oportunidade de realizar as análises de determinação de carbono e nitrogênio ocluso;

Ao pesquisador Dr. Bruno José Rodrigues Alves, da Embrapa Agrobiologia, pela parceria e por possibilitar a realização das análises de abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ;

Aos meus familiares que estão sempre torcendo pela minha felicidade e sucesso;

Aos professores João Medeiros, Beata Eموke Madari e Steel Vasconcelos, por terem prontamente aceitado participar da minha banca examinadora;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com meu aprendizado em mais esta etapa.

**MUITO OBRIGADA A TODOS!!!**

## RESUMO GERAL

OLIVEIRA, W. P. M. **Origem e estoques de C e N em agregados e sua relação com a mesofauna do solo em sistemas produtivos de café.** Vitória da Conquista - BA, UESB, 2022. 98 p. (Tese: Doutorado 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. A adoção de sistemas diversificados de produção pode trazer diversos benefícios para o solo, como o aumento ou manutenção da quantidade e qualidade dos resíduos aportados, do *turnover* de raízes e dos teores de matéria orgânica do solo, além da redução das oscilações de umidade e temperatura, o que favorece o estabelecimento de uma fauna e microfauna mais eficiente e diversa. O presente trabalho foi dividido em três artigos. O primeiro artigo aborda a influência desses sistemas no estoque de C e N e, especificamente, do sistema agroflorestal de café na abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ . O segundo artigo propõe verificar mudanças na distribuição dos agregados e dos estoques de C e N ocluso no interior dos agregados do solo. Já o terceiro artigo tem como foco a influência desses sistemas na densidade e diversidade da mesofauna edáfica e na interação entre a mesofauna e a agregação. Todos os estudos foram conduzidos no município de Planalto, Bahia, a partir da avaliação de cinco sistemas: CM – café monocultivo, CCB – consórcio de café + banana, SAF – sistema agroflorestal café + grevilea, FN - floresta nativa e PA – pastagem, que foi incluída apenas no artigo 1. Amostras de solo foram coletadas em seis profundidades de até 100 cm. Os estoques de carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total (NT) foram determinados, para todos os sistemas, via combustão seca. A técnica de abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  foi usada apenas no SAF em contraste com o COS acumulado na pastagem. Adotou-se fracionamento do solo em classes de agregados (2000-250  $\mu\text{m}$ ; 250-53  $\mu\text{m}$  e; <53  $\mu\text{m}$ ) e sonificação das classes de maior tamanho para determinar o teor de C e N ocluso. A mesofauna edáfica foi avaliada na camada 0-10 cm, pelo método do funil de Berlese-Tullgren modificado e os dados obtidos foram analisados em conjunto com os dados de agregados, COS, NT, C e N oclusos para avaliação de efeitos diretos e indiretos. Os maiores estoques de COS e NT do solo, em todos os sistemas, foram encontrados na camada 0-40 cm. As diferenças nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais pronunciadas nas camadas mais superficiais do solo. Maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foram encontrados no SAF em relação à FN. Estoques de N ocluso evidenciaram diferenças entre os sistemas de café. Os macroagregados constituem o compartimento com maior capacidade de armazenamento de C e N ocluso, com maior representatividade na camada 0-40 cm. Os microagregados representam menor proporção de C e N, mas contribuem com mais de 12%, sendo essa fração mais estável e menos afetada pelo manejo. Dentre os sistemas estudados, o SAF foi o que mais favoreceu riqueza e ocorrência de organismos detritívoros/decompositores e predadores pela maior disponibilidade de recursos e *microhabitats*. A mesofauna edáfica não exerce efeito direto na agregação e estabilização de C e N. No entanto, a agregação refletiu em um efeito positivo indireto do nitrogênio total.

**Palavras-chave:** abundância natural; agregação; matéria orgânica do solo; estabilidade do carbono; modelos de equações estruturais.

---

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

## GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, W. P. M. **Origin and stocks of C and N in aggregates and their relationship with soil fauna in coffee production systems.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2022. 98 p. (Thesis: Doctorate in Agronomy, Concentration Area: Phytotechnics)\*

Coffee cultivation is one of the most important agricultural activities in the world. Brazil is responsible for a third of the world production, being characterized as the largest producer and exporter of the product. The adoption of diversified production systems can bring several benefits to the soil, such as increasing or maintaining the quantity and quality of the contributed residues, root *turnover* and soil organic matter contents, in addition to reducing fluctuations in humidity and temperature, which favors the establishment of a more efficient and diverse fauna and microfauna. This work was divided into three articles. The first article addresses the influence of these systems on the stock of C and N; and, specifically, the coffee agroforestry system in the natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ . The second article proposes to verify changes in the distribution of aggregates and the stocks of C and N occluded within the soil aggregates. The third article focuses on the influence of these systems on the density and diversity of edaphic mesofauna and on the interaction between mesofauna and aggregation. All studies were conducted in the municipality of Planalto, Bahia, based on the evaluation of five systems: CM - monoculture coffee, CCB - coffee + banana consortium, SAF - agroforestry system coffee + grevilea, FN - native forest and PA - pasture, which was included only in article 1. Soil samples were collected at six depths up to 100 cm. Soil organic carbon (COS) and total nitrogen (NT) stocks were determined for all systems, via dry combustion. The technique of natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  was used only in the AFS in contrast to the COS accumulated in the pasture. Soil fractionation into aggregate classes (2000-250  $\mu\text{m}$ ; 250-53  $\mu\text{m}$  and; <53  $\mu\text{m}$ ) and sonification of larger size classes were adopted to determine the content of C and N occluded. Edaphic mesofauna was evaluated in the 0-10 cm layer, using the modified Berlese-Tullgren funnel method and the data obtained were analyzed together with aggregate data, COS, NT, C and N occluded to evaluate direct and indirect effects. The highest soil COS and NT stocks in all systems were found in the 0-40 cm layer. The differences in the values of  $\delta^{13}\text{C}$  were more pronounced in the more superficial layers of the soil. Higher values of  $\delta^{15}\text{N}$  were found in SAF in relation to FN. N occluded stocks showed differences between coffee systems. The macroaggregates constitute the compartment with the greatest storage capacity for C and N occluded, with greater representation in the 0-40 cm layer. Microaggregates represent a smaller proportion of C and N, but contribute more than 12%, being this fraction more stable and less affected by management. Among the systems studied, the SAF was the one that most favored the richness and occurrence of detritivorous/decomposers and predators, due to the greater availability of resources and microhabitats. Edaphic mesofauna have no direct effect on C and N aggregation and stabilization. However, aggregation reflected an indirect positive effect of total nitrogen

**Keywords:** natural abundance; aggregation; soil organic matter; carbon stability; structural equation models

---

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



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Caracterização química e densidade do solo até um metro de profundidade em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN (floresta nativa) e PA - pastagem no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	12
Tabela 2. 1 – Caracterização química e densidade do solo até um metro de profundidade em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN (Floresta Nativa) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	39
Tabela 2.2 – Composição granulométrica do solo até um metro de profundidade em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN (Floresta Nativa) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	40
Tabela 2.3 – Distribuição das classes de agregados do solo até um metro de profundidade em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN – floresta nativa no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	45
Tabela 2.4 – Carbono ocluso (CO), nitrogênio ocluso (NO), relação massa da fração particulada/massa da fração oclusa dos macroagregados (MFP/MFO <sub>MA</sub> ) e dos microagregados (MFP/MFO <sub>MI</sub> ), em agregados do solo até um metro de profundidade em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN – floresta nativa.....	48
Tabela 3.1 – Caracterização química e granulométrica do solo, matéria orgânica, umidade e densidade do solo em três sistemas produtivos de café e floresta nativa, no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	65
Tabela 3.2 – Abundância, riqueza e índices de Shannon e de Pielou da comunidade da mesofauna edáfica em três sistemas produtivos de café e floresta nativa, no município de Planalto, Bahia, Brasil.....	68

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevílea; 2 – consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; 4 – floresta nativa; e 5 – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....10
- Figura 1.2 – Estoque de COS do solo, na camada 0-100 cm, em diferentes sistemas produtivos (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea e PA – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....16
- Figura 1.3 – Estoque de COS em diferentes profundidades de solos (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea e PA – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....18
- Figura 1.4 – Estoques de NT na camada de solo 0-100 cm em diferentes sistemas produtivos de café (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea e PA – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....19
- Figura 1.5 – Estoque de NT em diferentes profundidades de solos (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea e PA – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....20
- Figura 1.6 – Variação de  $\delta^{13}\text{C}$  com a profundidade do solo na Floresta nativa (FN), pastagem (PA) e sistema agroflorestal café + grevílea (SAF).....22
- Figura 1.7 – Variação de  $\delta^{15}\text{N}$  com a profundidade do solo na floresta nativa (FN), pastagem (PA) e sistema agroflorestal café + grevílea (SAF).....24
- Figura 1.8 – Estoque de Carbono de resíduos derivados de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  na profundidade de 20 cm solo na floresta nativa (FN), pastagem (PA) e sistema agroflorestal café + grevílea (SAF)..... 25
- Figura 2.1 – Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevílea; 2 – consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; e 4 – floresta nativa) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....37
- Figura 2.2 – Diâmetro médio ponderado (DMP) em relação ao carbono orgânico do solo (COS) em três sistemas produtivos de café (CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea) e FN (Floresta Nativa) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....47
- Figura 2.3 – Participação do C ocluso dos macroagregados + microagregados ( $\text{CO}_{\text{MA+MI}}$ ) no carbono orgânico do solo até um m de profundidade sob três sistemas produtivos de café (CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea) e FN – floresta nativa.....51

Figura 2.4 – Participação do N ocluso dos macroagregados + microagregados ( $NO_{MA+MI}$ ) no nitrogênio total do solo (NT) até um m de profundidade sob três sistemas produtivos de café (CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN – floresta nativa.....52

Figura 3.1 – Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevilea; 2 – consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; e 4 – floresta nativa) no município de Planalto, Bahia, Brasil.....64

Figura 3.2 – Diagrama de ordenação das variáveis (A) e dos tratamentos (B) produzidos pela análise de componentes principais dos grupos funcionais da mesofauna edáfica (Predador/Parasita, Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), carbono orgânico do solo (COS), carbono ocluso dos macro (COma) e microagregados (COmi), nitrogênio total (NT), nitrogênio ocluso dos macroagregados (NOma) e microagregados (NOmi), massa da fração particulada dos macro (MFPma) e microagregados (MFPmi) e a massa da fração oclusa dos macro (MFOma) e microagregados (MFOmi) em três sistemas produtivos de café (SAF – sistema agroflorestal café + grevilea; CBB – café consorciado com banana; CM – café em monocultivo) e floresta nativa, no município de Planalto, Bahia, Brasil.....70

Figura 3.3 – Diagrama de caminhos da análise de equações estruturais para o efeito da mesofauna e agregação do solo em sistemas produtivos de café. Variáveis latentes: fauna edáfica e agregação. Variáveis observadas: nitrogênio (NT), carbono orgânico do solo (COS), principais grupos funcionais do estudo da mesofauna (Predador/Parasita, Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), massa da fração particulada do macro (MFPma) e microagregados (MFPmi) e a massa da fração oclusa do macro (MFOma) e microagregados (MFOmi), carbono ocluso do macro (COma) e microagregados (COmi), nitrogênio ocluso do macroagregados (NOma) e microagregados (NOmi). Modelos de equações estruturadas ( $p < 0,1$ ).....71

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise de componentes principais
Al	Alúminio
ALA	Agregado livre de areia
C	Carbono
Ca	Cálcio
CCB	Consórcio de café e banana
CM	Café em monocultivo
Cm	Centímetros
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
°C	Graus célsius
CO	Carbono ocluso
COS	Carbono orgânico do solo
Dm	Decímetro
DMP	Diâmetro médio ponderado
DS	Densidade do solo
Ecs	Espessura da camada
EST	Estoque total
Ead/sub	Espessura da camada a ser adicionada ou subtraída
FN	Floresta nativa
ha	Hectare
H'	Índice de diversidade de Shanon
J	Índice de equitabilidade de Pielou
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
Mm	Milímetros
MA	Macroagregados
MI	Microagregados
Mg	Megagrama
Mg	Miligrama
ml	Mililitro
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
Mref	Massa de solo na respectiva camada da referência
Mtrat	Massa de solo na respectiva camada no tratamento
N	Nitrogênio
NO	Nitrogênio ocluso
NT	Nitrogênio total
PA	Pastagem
PDB	Pee Dee Belemnita
pH	Potencial hidrogeniônico
SAF	Sistema agroflorestal
TFSA	Terra fina seca ao ar
%	Porcento

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
3. ARTIGO I - Estoques e abundância natural de C e N do solo em sistemas de cultivo de café.....	6
3.1 INTRODUÇÃO.....	6
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	8
3.2.1 Caracterização da área de estudo .....	8
3.2.2 Coleta e preparo das amostras de solo .....	13
3.2.3 Determinação do carbono orgânico do solo e nitrogênio total .....	14
3.2.4 Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ .....	15
3.2.4 Análise estatística.....	16
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.3.1 Estoque de carbono orgânico do solo e nitrogênio total do solo .....	16
3.3.2 Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com a profundidade do solo .....	21
3.4 CONCLUSÕES.....	27
3.5 AGRADECIMENTOS.....	26
3.6 REFERÊNCIAS .....	27
4 ARTIGO II - Proteção física do carbono e nitrogênio por meio de agregados do solo em sistemas produtivos de café .....	34
4.1 INTRODUÇÃO.....	36
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	37
4.2.1 Caracterização da área de estudo .....	37
4.2.2 Coleta e preparo das amostras de solo .....	39
4.2.3 Fracionamento em classes de agregados.....	41
4.2.4 Correção de areia dos agregados.....	41
4.2.5 Sonificação das classes dos agregados .....	42
4.2.6 Carbono orgânico e nitrogênio ocluso .....	43
4.2.7 Carbono orgânico e nitrogênio total do solo.....	43
4.2.8 Análise Estatística.....	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.3.1 Distribuição das classes de agregados .....	45
4.3.2 Carbono e nitrogênio protegidos fisicamente em agregados do solo .....	48
4.4 CONCLUSÕES .....	53
4.5 AGRADECIMENTOS.....	53
4.5 REFERÊNCIAS .....	53
5 ARTIGO III - Relação entre a mesofauna, agregação, carbono e nitrogênio do solo em sistemas produtivos de café .....	60
5.1 INTRODUÇÃO.....	60
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	63
5.2.1 Área de estudo.....	63
5.2.2 Amostragem do solo .....	65
5.2.3 Mesofauna edáfica .....	66

5.2.4 Agregação, carbono e nitrogênio do solo .....	66
5.2.5 Análise estatística.....	66
5.3 RESULTADOS .....	68
5.3.1 Fauna do solo .....	68
5.3.2 Interação entre fauna edáfica e agregação do solo.....	69
5.4 DISCUSSÃO .....	71
5.4.1 Fauna do solo .....	71
5.4.2 Interação entre fauna edáfica e agregação do solo.....	73
5.5 CONCLUSÃO.....	75
5.6 AGRADECIMENTOS.....	76
5.6 REFERÊNCIAS .....	76
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	83

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A lavoura cafeeira é considerada uma das principais atividades do agronegócio brasileiro. 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 propiciam alta incidência de radiação solar, além de impactos negativos sobre o solo, como reduções na diversidade microbiana, no estoque de matéria orgânica (Zhao et al., 2018) e, como consequência, nos estoques de carbono orgânico do solo (COS).

Por sua vez, a adoção de sistemas diversificados de produção, como a arborização dos cafezais, pode trazer diversos benefícios para o solo, como o aumento ou manutenção da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais aportados (Chatterjee et al., 2018), do *turnover* de raízes (Upson e Burgess, 2013) e dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) (Mendonça et al., 2001), além da redução das oscilações de umidade e temperatura, o que favorece o estabelecimento de uma fauna e microfauna mais eficiente e diversa (Pezzopane et al., 2010). As espécies cultivadas junto ao café podem ser arbóreas, como a *Grevilea robusta*, ao que se nomeia sistema agroflorestal (SAF); ou espécies anuais frutíferas, como a banana, dando origem aos consórcios. Segundo Morais et al. (2009), no Brasil, apesar do domínio do cultivo a pleno sol, a técnica de sombreamento de cafezais tem se expandido em virtude da necessidade de se produzir com menor uso de insumos.

Em regiões tropicais, os SAFs são considerados eficientes sequestradores de carbono (C), tanto pela alta produtividade de biomassa quanto pelo significativo aumento dos estoques de MOS (Froufe et al., 2011). Alguns estudos vêm demonstrando que a implantação de espécies florestais em terras agrícolas é um método eficaz para aumentar os estoques de COS (Karhu et al., 2011; Korkanç, 2014; Garcia-Franco et al., 2015) e N total do solo (Iwata et al., 2012), visto que modifica a quantidade e qualidade do material depositado no solo (Laganière et al., 2010). Adicionalmente, quando há a implantação de espécies vegetais com diferentes ciclos fotossintéticos (C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>), ocorrem mudanças na matéria orgânica do solo e estas podem ser detectadas com a utilização da técnica de abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{15}\text{N}$ , visando determinar a influência de diferentes sistemas de uso da terra no sequestro de C e estoque de N no solo (Balesdent et al., 1987).

A distribuição do COS está diretamente relacionada à agregação do solo, já que esta última resulta da ligação entre matéria orgânica do solo (MOS) e partículas primárias do solo (argila, silte e areia) (Kemper e Rosenau, 1986). A proteção física da MOS, dentro dos agregados, é considerada o principal mecanismo de estabilização do C e N do solo (Frabrizzi et al., 2009). Diversos fatores podem influenciar essa estabilização em solos manejados, como a cultura e sistema de manejo adotado, os teores de matéria orgânica no solo, o tipo e teor de argila, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e cátions trocáveis (Carpenedo e Mielniczuk, 1990), além da quantidade de exsudatos radiculares e microbianos (Tisdal e Oades, 1982; Six et al., 2004).

Os agregados podem ser formados por ações físicas, químicas e adição de matéria orgânica (agregados fisiogênicos) ou por ação da fauna edáfica, com a deposição de excrementos e formação de poros e galerias (agregados biogênicos). A mesofauna do solo inclui organismos que possuem diâmetro corporal entre 0,2 e 2 mm e seus representantes se concentram em grande quantidade na camada de 0 a 5 cm de profundidade, sendo sensível a alterações ambientais, principalmente as decorrentes de atividades antrópicas (Barreta et al., 2011). Esses organismos atuam, particularmente, na desintegração e transformação da serapilheira, desempenhando um papel importante no revolvimento e incorporação de resíduos orgânicos nas partículas minerais do solo. Por essa razão, a mesofauna do solo pode contribuir significativamente para a formação de agregados estáveis e, conseqüentemente, para a estabilização do COS (Grandy et al., 2016; Rosa et al., 2015; Trentini et al., 2018).

Diante do exposto, esta tese foi dividida em três artigos, desenvolvidos com o propósito de verificar se a organização e o manejo de sistemas de cultivo de café condicionam mudanças nos estoques de carbono orgânico do solo. O primeiro artigo aborda a influência desses sistemas no estoque de C e N e, especificamente, do sistema agroflorestal de café na abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ . O segundo artigo propõe verificar mudanças na distribuição dos agregados e dos estoques de carbono e nitrogênio ocluso no interior dos agregados do solo. Já o terceiro artigo tem como foco a influência desses sistemas na densidade e diversidade da mesofauna edáfica e na interação entre a mesofauna e a agregação.



## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreta, D.; Santos, J.C.P.; Segat, J.C.; Geramia, E.V.; Oliveira Filho, L.C.I. de.; Alves, M.V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.7, p.119-170.
- Balesdent, J.; Mariotti, A.; Guillet, B. (1987). Natural  $^{13}\text{C}$  abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil biology and biochemistry**, 19 (1): 25-30.
- Bronick, C. J.; Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p.3-22.
- Carpenedo, V.; Mielniczuk, J. (1990). Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxo, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105.
- Chatterjee, N.; Nair, P. K. R.; Chakraborty, S.; Nair, V. D. (2018). Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 266, 55–67.
- Fabrizzi, K. P.; Rice, C. W.; Amado, T. J.C.; Fiorin, J.; Barbagelata, P.; Melchiori, R. (2009). Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. **Biogeochemistry**, v.92, p.129–143.
- Froufe, L. C. M.; Rachwal, M. F. G.; Seoane, C. E. S. (2011). Potencial de sistemas agroflorestais multiestratos para sequestro de carbono de áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 143-154.
- Garcia-Franco, N.; Martinez-Mena, M.; Governa, M.; Albaladejo, J. (2015). Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 87, p. 110-121.
- Gama-Rodrigues, E. F.; Nair, P. K. R.; Nair, V. D.; Gama-Rodrigues, A. C.; Baligar, V., Machado, R. C. R. (2010). Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v.45, p.274–283.
- Grandy, A. S.; Wieder, W. R.; Wickings, K.; Kyker-Snowman, E. (2016). Beyond microbes: Are fauna the next frontier in soil biogeochemical models?. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 102, p. 40-44.
- Iwata, B. F.; Leite, L. F. C.; Araújo, A. S. F.; Nunes, L. A. P. L.; Gehring, C.; Campos, L. P. (2012). Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n7, p. 730-738.
- Karhu, K.; Wall, A.; Vanhala, P.; Liski, J.; Esala, M.; Regina, K. (2011). Effects of afforestation and deforestation on boreal soil carbon stocks – comparison of measured C stocks with Yasso07 model results. **Geoderma**, v. 164, p. 33-45.

- Kemper, W. D.; Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, pt. I, cap. 17, p. 425- 443.
- Korkanç, S. Y. (2014). Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. **Catena**, v. 123, p. 62-69.
- Laganière, J.; Angers, D. A.; Paré, D. (2010). Accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.16, p. 439-453.
- Mendonça, E. S.; Leite, L. F. C.; Ferreira Neto, P. S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista árvore**, Viçosa, v.25, n. 3, p. 375-383, 2001.
- Montagnini, F.; Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 281-295.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Koguish, M. S.; Gomes, J. C.; Ribeiro, A. M. A. (2009). Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 400-406.
- Pezzopane, J. R. M.; Marsetti, M. M. S.; Souza, J. M.; Pezzopane, J. E. M. (2010). Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, v.40, n. 6,p.1257-1263.
- Rosa, M. G.; Filho, O. K.; Bartz, M. L. C.; Mafra, A. L.; Sousa, J. P. F. A.; Baretta, D. (2015). 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.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. (2004) A History of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7-31.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Soil Science American Journal**, v. 33, n. 2, p. 141-163.
- Trentini, C. P.; Villagra, M.; Pámies, D.G.; Laborde, V. B.; Bedano, J. C.; Campanello, P. I. (2018). 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.
- Upton, M. A.; Burgess, P. J. (2013). Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system. **Plant Soil**, v. 373, p. 43-58.
- Zinn, Y. L.; Lal, R.; Resck, D. V. S. (2005). Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, p. 28-40.

Zhao, Q.; Xiong, W.; Xing, Y.; Sun, Y.; Lin, X.; Dong, Y. (2018). Long-Term Coffee Monoculture Alters Soil Chemical Properties and Microbial Communities. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11.

**3. ARTIGO I**

**ESTOQUES E ABUNDÂNCIA NATURAL DE C E N DO SOLO EM SISTEMAS DE  
CULTIVO DE CAFÉ\***

---

\* **Situação:** Submetido

## 1        **Estoques e abundância natural de C e N do solo em sistemas de cultivo de café**

2  
3  
4        Walleka Pereira Medeiros de Oliveira<sup>1</sup>, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia<sup>2</sup>,  
5        Paulo Henrique Marques Monroe<sup>2</sup>

6        <sup>1</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Programa de Pós-Graduação em  
7        Agronomia, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
8        Conquista, BA, Brasil.

9        <sup>2</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Departamento de Engenharia  
10       Agrícola e Solos, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
11       Conquista, BA, Brasil.

12       Autor para correspondência: wallekap@hotmail.com

### 13       **RESUMO**

14       A implantação do café em sistema agroflorestal (SAF) ou consórcio com outras culturas  
15       pode trazer diversos benefícios para o solo, devido ao maior aporte de serapilheira e  
16       consequente impacto positivo sobre a matéria orgânica do solo. Os objetivos deste  
17       trabalho foram quantificar o estoque de C e N do solo em sistemas de cultivo de café e  
18       avaliar a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  até um metro de profundidade em um SAF  
19       implantado em área de pastagem. Amostras de solo foram coletadas em seis camadas  
20       (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm). O carbono orgânico do solo (COS) e o  
21       nitrogênio total (NT) foram determinados usando combustão seca. A abundância natural  
22       de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  foi determinada apenas no SAF em contraste com os estoques de COS e  
23       NT da pastagem. Os estoques de COS, até um metro de profundidade, foram superiores  
24       na FN em relação ao SAF e CM, os quais não diferiram dos sistemas CCB e PA. Já o  
25       estoque de NT mostrou resultado superior no sistema CCB juntamente com os sistemas  
26       FN, CM e PA em relação ao SAF. As diferenças nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais  
27       pronunciadas nas camadas mais superficiais do solo, havendo uma padronização em  
28       todos os sistemas a partir dos 40 cm de profundidade. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  da FN  
29       apresentaram um enriquecimento isotópico com o aumento da profundidade, enquanto o  
30       SAF e PA não apresentaram tendência bem definida no perfil do solo.

31       **Palavras-chave:** sistema agroflorestal; carbono orgânico do solo; nitrogênio total.

### 32 33       **3.1 INTRODUÇÃO**

34       O café é amplamente cultivado no Brasil e constitui um dos produtos mais  
35       importantes para a economia nacional e mundial, conferindo ao país o título de maior  
36       produtor e exportador de café do mundo. O estado da Bahia é o quarto maior produtor

37 de café entre os estados brasileiros, com uma produção de cerca de 3,99 milhões de  
38 sacas em 2020, que foi alavancada por investimentos em pesquisa e implementação de  
39 tecnologias de irrigação e manejo das lavouras. A Bahia possui três principais regiões  
40 produtoras: Cerrado e Planalto, que concentram café arábica (*Coffea arabica* L.); e  
41 Atlântica, especializada em café conilon (*Coffea canephora* P.) (Conab, 2020).

42 No Brasil, as principais práticas de cultivo do café variam especialmente quanto  
43 ao espaçamento (sistemas mais ou menos adensados), manejo nutricional (adubação  
44 química, orgânica ou sem adubação) e sistemas de cultivo (cultivo a pleno sol, cultivo  
45 sombreado, cultivo irrigado ou agroflorestal). O uso da arborização, como a  
46 implantação do café em sistema agroflorestal (SAF) ou consórcio com outras culturas,  
47 pode minimizar os efeitos estressantes relacionados à exposição da planta ao sol e trazer  
48 diversos benefícios para o solo, devido ao maior aporte de serapilheira e impacto  
49 positivo sobre a matéria orgânica.

50 A arborização em cafeeiro propicia a deposição contínua de resíduos vegetais  
51 sobre o solo, o que favorece a manutenção e/ou diversificação da matéria orgânica do  
52 solo (MOS) e, conseqüentemente, contribui para aumentar a qualidade e produtividade  
53 das culturas, além de promover o armazenamento de C e N (Iwata et al., 2012; Santiago  
54 et al., 2013). Embora o sequestro de carbono não se caracterize como o principal serviço  
55 dos SAFs relacionados ao cultivo do café, estudos recentes evidenciam que esses  
56 sistemas elevam a capacidade de armazenamento de carbono na biomassa acima  
57 (Feliciano et al., 2018) e abaixo do solo (Nair et al., 2009; Belizário et al., 2018).

58 Apesar das vantagens da arborização do cafeeiro, no Brasil, a cafeicultura é  
59 praticada predominantemente a pleno sol, denominado de sistema convencional. Esse  
60 sistema tem sido bastante criticado, no que diz respeito à sustentabilidade, já que  
61 práticas de cultivo intensivo contínuo propiciam alta incidência de radiação solar,  
62 aceleração da decomposição da matéria orgânica e desagregação do solo (Araújo et al.,  
63 2016; Okolo et al., 2020; Nwite et al., 2018).

64 A determinação da abundância natural de  $^{13}\text{C}$  é uma ferramenta importante para  
65 auxiliar na identificação da contribuição temporal dos sistemas de uso da terra no  
66 estoque de C do solo, através da composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), que permite  
67 diferenciar as espécies vegetais quanto ao seu mecanismo fotossintético. A análise de  
68 abundância natural de  $\delta^{15}\text{N}$  da MOS também permite obter informações de variações  
69 atribuídas aos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, porém mais voltadas às

70 associações com microrganismos, às diferentes fontes de N utilizadas e à demanda de N  
71 pelas plantas (Hogberg, 1997).

72 A utilização da análise da variação na abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  é justificada  
73 pelo objetivo de avaliar o efeito do histórico do uso da terra no estoque de carbono, bem  
74 como evidenciar a quantidade de C do sistema como um todo em várias camadas do  
75 solo, até um metro de profundidade (Siqueira Neto et al., 2010; Guareschi et al., 2012).  
76 Quanto ao uso da técnica de abundância do  $^{15}\text{N}$  relativo ao  $^{14}\text{N}$ , observa-se que, quando  
77 ocorrem os processos de mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização,  
78 associadas à assimilação de N pelas plantas, têm-se maior decomposição do isótopo  
79 mais leve de N ( $^{14}\text{N}$ ), deixando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de  
80  $^{15}\text{N}$  (Bustamante et al., 2004). Dessa forma, segundo Mendonça et al. (2010), menores  
81 valores de  $\delta^{15}\text{N}$  estão associados à maior quantidade de MOS, o que é indício da  
82 decomposição da matéria orgânica.

83 Estudos sobre  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  vêm sendo realizados em sistemas de plantio direto  
84 (SPD), integração lavoura-pecuária (SILP) e em diferentes formações florestais  
85 (Guareschi et al., 2014; Loss et al., 2012; Loss et al., 2014; Mendonça et al., 2010). A  
86 exemplo de Mendonça et al. (2010), os quais relataram que os solos sob floresta  
87 apresentaram os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  associados à maior quantidade de matéria  
88 orgânica; e valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais significativos até a profundidade de 35 cm,  
89 indicando alterações recentes na cobertura vegetal que mudaram a origem dos resíduos  
90 de vegetação do ciclo  $\text{C}_4$  para vegetação do ciclo  $\text{C}_3$ . Vários autores têm utilizado a  
91 abundância natural de  $^{13}\text{C}$  para determinar as contribuições de diferentes espécies no  
92 estoque de COS (Monroe et al., 2016; Takimoto et al., 2008; Zhang et al., 2007; Lemma  
93 et al., 2006; Takimoto et al., 2009; Maggiotto et al., 2014). Entretanto, ainda são  
94 escassos estudos relacionados à abundância natural do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em sistemas  
95 agroflorestais (Couto et al., 2017; Oelbermann et al., 2006), especialmente naqueles  
96 aplicados à produção de café.

97 Nessa perspectiva, os objetivos deste trabalho foram quantificar os estoques de  
98 C e N do solo em diferentes sistemas de cultivo de café e avaliar a abundância natural  
99 de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  relativo ao  $^{12}\text{C}$  e  $^{14}\text{N}$ , até um metro de profundidade em um sistema  
100 agroflorestal (SAF) implantado em área de pastagem. Assumiu-se a hipótese de que a  
101 adoção de diferentes sistemas produtivos de café, como os sistemas agroflorestais e o  
102 cultivo consorciado, pode proporcionar alterações benéficas sobre os estoques e  
103 composição dos isótopos estáveis do C e N.

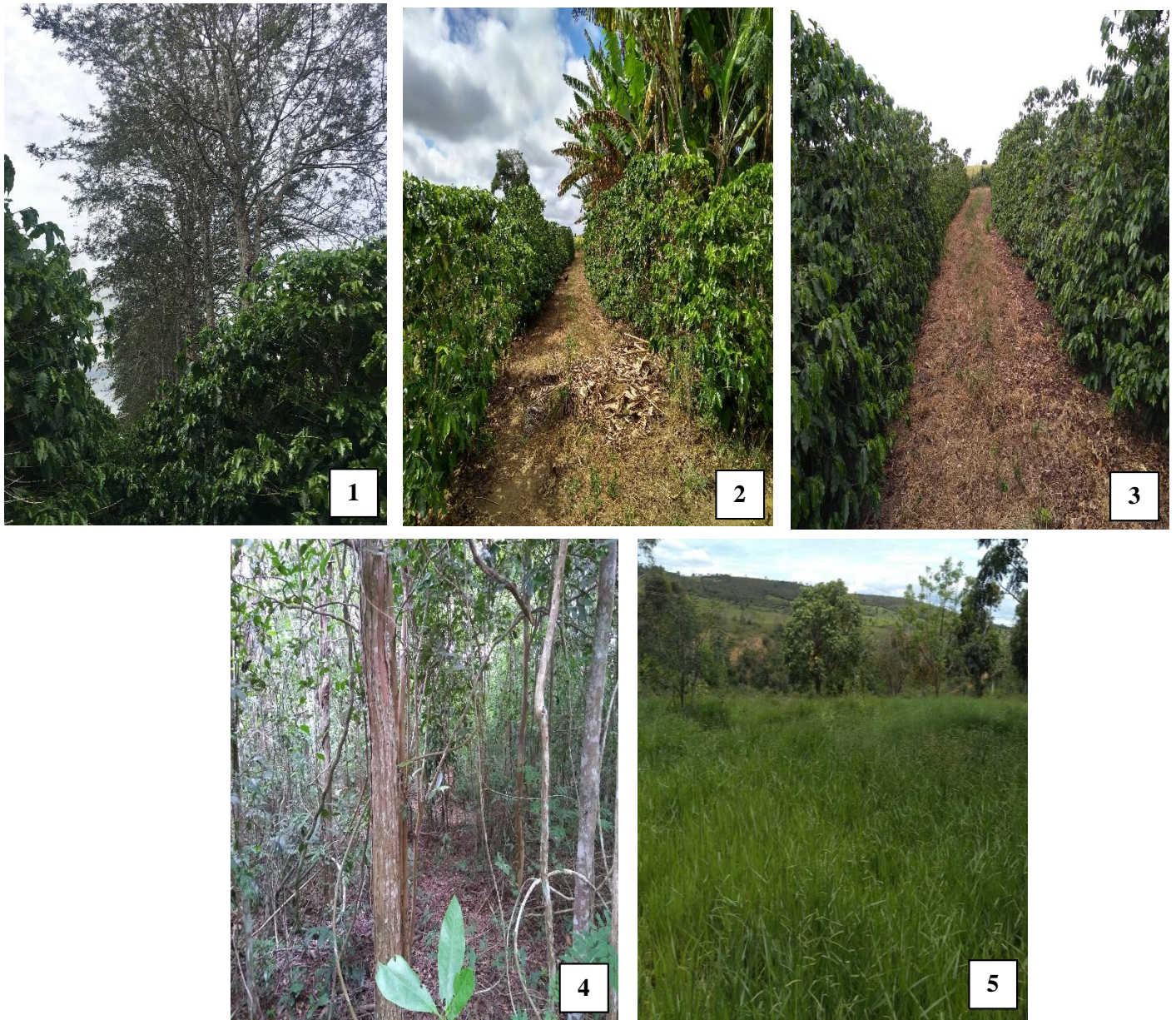
## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi conduzido no distrito de Lucaia, município de Planalto, microrregião sudoeste do estado da Bahia. A região apresenta clima tropical de altitude, do tipo Cwb, segundo classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), com altitude média de 943 metros, temperatura média anual de 19,2 °C e pluviosidade média anual de 750 mm (com estação seca de maio a setembro).

Cinco tratamentos foram avaliados neste estudo: (1) SAF – sistema agroflorestal *Coffea arabica* × *Grevilea robusta* (14°74'99" S, 40°54'16" O e 907 m de altitude), com espaçamento 3,5 × 15,0 m (entre árvores) e 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros), com idade de 21 anos e área de aproximadamente de 1 ha; (2) CCB – *Coffea arabica* consorciado com banana (14°75'07" S, 40°52'16" O e 970 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 4,0 m (entre cafeeiros) e 1,0 x 16,0 m (entre bananeiras), 21 anos de idade (incluindo uma poda drástica do café aos oito anos de idade) e área de 5,3 ha; (3) CM – *Coffea arabica* em monocultivo (14°75'29" S, 40° 54'32" O e 905 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 2,5 m, 19 anos de idade (incluindo duas podas drásticas) e área de aproximadamente 6 ha; (4) FN – floresta nativa com cerca de 30 anos sem interferência (14°44'58" S, 40°31'14" O e 972 m de altitude); e (5) PA – pastagem (14°75'01" S, 40° 53'98" O e 901 m de altitude) de, aproximadamente, 30 anos, não manejada e composta predominantemente por Braquiária (*Brachiaria* sp.), mantida com cerca de 40 cm de altura (Figura 1).





138 **Figura 1.** Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevílea; 2 –  
 139 consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; 4 – floresta nativa; e 5 – pastagem)  
 140 no município de Planalto, Bahia, Brasil.

141 Os sistemas (4) e (5) estão localizados em áreas adjacentes aos sistemas de café  
 142 e foram utilizados como referência. A FN foi utilizada como referência por representar a  
 143 condição original (antes da implantação dos sistemas de cultivo) e a PA representando  
 144 um ambiente em estágio inicial de degradação.

145 A floresta nativa é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana  
 146 e trata-se de uma floresta com estrato arbóreo relativamente baixo (entre 10 e 15 m de  
 147 altura), com predominância de ecótipos dos gêneros *Parapiptadenia* e *Anadenanthera*  
 148 (IBGE, 2012) e estágio intermediário de regeneração, segundo critérios descritos na

149 Resolução CONAMA nº 01/1994 (BRASIL, 1994), pois não foi submetida a nenhuma  
150 intervenção há mais de 20 anos.

151 O SAF foi estabelecido a partir da roçagem e abertura de sulcos, e adubação de  
152 plantio (20 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples) e orgânica de cobertura (12 kg de esterco  
153 bovino). Nos sistemas CCB e CM, adotou-se preparo do solo com aração, gradagem e  
154 abertura de sulcos, adubação de plantio (superfosfato simples: 150 g e 120 g por planta,  
155 respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g e NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por  
156 planta). Em todos os sistemas, os tratos culturais foram realizados duas vezes ao ano,  
157 com roçagem para controle de ervas espontâneas.

158 O solo dos sistemas estudados pertence a uma mesma classe: Latossolo Amarelo  
159 Distrófico (Santos et al., 2018), cuja a caracterização química e a densidade do solo  
160 estão apresentados na Tabela 1.

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182 **Tabela 1.** Caracterização química e densidade do solo até um metro de profundidade  
 183 em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café  
 184 + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea), floresta nativa (FN) e pastagem  
 185 (PA) no município de Planalto, Bahia, Brasil

186

Sistemas	Prof. (cm)	pH <sup>(1)</sup>	K	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg cmolc dm <sup>-3</sup>	Al	DS g dm <sup>3</sup>
CM	0-10	6,3	0,49	3,4	1,9	0,0	1,54
CCB		6,1	0,50	4,5	1,9	0,0	1,46
SAF		5,8	0,44	3,5	1,7	0,1	1,21
FN		4,8	0,17	1,9	1,0	0,8	1,26
PA		6,7	0,85	3,5	1,8	0,0	1,26
CM	10-20	5,9	0,26	2,0	1,5	0,0	1,59
CCB		5,5	0,37	2,6	1,1	0,2	1,54
SAF		5,1	0,26	1,1	0,8	0,4	1,46
FN		4,7	0,13	0,7	0,6	1,1	1,42
PA		5,6	0,60	1,8	0,8	0,2	1,45
CM	20-40	4,9	0,13	0,9	0,7	0,5	1,70
CCB		4,8	0,21	0,9	0,5	1,0	1,30
SAF		4,8	0,18	0,6	0,4	0,8	1,47
FN		4,7	0,09	0,5	0,4	1,4	1,32
PA		4,9	0,36	0,6	0,5	0,7	1,51
CM	40-60	4,8	0,09	0,7	0,5	0,6	1,47
CCB		4,8	0,19	0,7	0,6	1,1	1,27
SAF		4,6	0,15	0,4	0,2	1,0	1,30
FN		4,7	0,05	0,4	0,4	1,8	1,26
PA		4,5	0,26	0,4	0,3	0,9	1,36
CM	60-80	4,9	0,08	0,7	0,5	0,6	1,34
CCB		4,7	0,10	0,8	0,6	1,0	1,43
SAF		4,6	0,13	0,4	0,2	1,0	1,30
FN		4,6	0,04	0,4	0,4	1,8	1,39
PA		4,6	0,27	0,4	0,2	1,0	1,37
CM	80-100	4,8	0,05	0,6	0,7	0,6	1,43
CCB		4,6	0,10	0,6	0,5	1,2	1,51
SAF		4,5	0,18	0,4	0,2	1,0	1,34
FN		4,6	0,03	0,3	0,3	1,4	1,37
PA		4,5	0,24	0,4	0,3	1,0	1,48

187 <sup>(1)</sup> Análises realizadas de acordo com EMBRAPA (2017): pH (água); K extraível por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al  
 188 trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. DS = densidade do solo obtida pelo método do anel volumétrico, que consistiu na  
 189 pesagem das amostras de solo coletadas em anel de volume conhecido (105,72 cm<sup>3</sup>), após secagem em estufa a 105  
 190 °C por 48 h.

### 191 3.2.2 Coleta e preparo das amostras de solo

192

193 As coletas de solo foram realizadas em março de 2020. Em cada sistema foram  
 194 demarcadas quatro parcelas, cada uma com área de 0,04 ha (20 × 20 m), respeitando  
 195 uma distância mínima de 20 m entre parcelas. Em cada parcela, foi aberta uma

196 trincheira (1 × 1 × 1,5 m) entre as linhas de cultivo, onde foram retiradas amostras  
197 deformadas de solo em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100  
198 cm), totalizando 24 amostras por sistema. Em cada profundidade, foram retiradas quatro  
199 amostras simples (uma de cada parede da trincheira), que foram reunidas formando uma  
200 composta. Também foram coletadas amostras indeformadas para determinação da  
201 densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

202 As amostras de solo de cada profundidade foram secas ao ar e passadas em  
203 peneira de 2 mm (Terra fina seca ao ar – TFSA). A granulometria do solo foi  
204 determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2017) (Tabela 1). As amostras  
205 indeformadas foram utilizadas para determinação da densidade do solo, que consistiu  
206 em secar as amostras de solo (105 °C) até peso constante para obtenção da massa seca e  
207 relacionar com o volume conhecido do anel volumétrico.

208

### 209 **3.2.3 Determinação do carbono orgânico e nitrogênio total**

210

211 O COS e o NT foram determinados utilizando-se de análise elementar via  
212 combustão seca à temperatura de 975 graus Celsius, por meio de um analisador  
213 elementar automatizado (Perkin-Elmer Series II 2400 CHNS/O Analyzer). A densidade  
214 do solo em cada profundidade foi usada para calcular o estoque de COS e NT, em um  
215 metro de profundidade, conforme a equação abaixo:

216

$$\text{EST} = \text{COS ou NT} * \text{Ds} * \text{Ecs}$$

217 Em que:

218 EST: Estoque de C ou N, em Mg ha<sup>-1</sup>;

219 COS: Carbono Orgânico do Solo (g 100g<sup>-1</sup>);

220 NT: Nitrogênio Total (g 100g<sup>-1</sup>)

221 Ds: Densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);

222 Ecs: Espessura da camada de solo (cm).

223 Como o cálculo do estoque de COS e NT de uma determinada camada de solo  
224 também depende da compactação do solo (Ellert e Bettany, 1995), a espessura da  
225 camada de solo foi corrigida, por meio da diferença de densidade do solo entre os  
226 sistemas de cultivo e a floresta natural (sem efeito antrópico), utilizando a equação:

227

228

229

230 
$$Ead/sub = (Mref. - Mtrat.)/Ds/100$$

231 Em que:

232 Ead/sub = espessura da camada a ser adicionada ou subtraída no cálculo do estoque  
233 (cm);

234 Mref. = Massa de solo na respectiva camada da referência (Mg ha<sup>-1</sup>);

235 Mtrat. = Massa de solo na respectiva camada no tratamento (Mg ha<sup>-1</sup>);

236 Ds = densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>).

237

### 238 **3.2.4 Abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$**

239

240 A abundância natural de  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  foi determinada apenas no SAF, em  
241 amostras de solos, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm,  
242 com o objetivo de avaliar a magnitude de influência do SAF sob ambiente com histórico  
243 de plantio com pastagem. O pré-tratamento das amostras foi realizado pelo tamisamento  
244 em peneira de 0,150 mm e análise em espectrômetro de massa de razão isotópica de  
245 fluxo contínuo (Finnigan DELTA plus), acoplado a um analisador de C e N (Carlo Erba  
246 EA 1108). A variação isotópica do carbono foi expressa como  $\delta^{13}C$  (‰) em relação ao  
247 padrão internacional de Pee Dee Belemnita (PDB), e o nitrogênio como  $\delta^{15}N$  (‰) em  
248 relação ao ar atmosférico (0,3663%).

249 O resultado da análise foi expresso em ‰ e calculado pela fórmula:

250 
$$\delta = (R_{amostra} - R_{padr\tilde{a}o}) / R_{padr\tilde{a}o}$$

251 Em que:

252  $R_{amostra}$  = Relação  $^{13}C/^{12}C$  ou  $^{15}N/^{14}N$  da amostra;

253  $R_{padr\tilde{a}o}$  = Relação  $^{13}C/^{12}C$  ou  $^{15}N/^{14}N$  do padrão.

254 Foi calculada a proporção de C derivado de plantas C<sub>4</sub> (pastagem) somente na  
255 camada de 0-20 cm, devido à diminuição da influência da matéria orgânica adicionada  
256 no solo e uma padronização da abundância natural de  $^{13}C$  entre os sistemas abaixo dessa  
257 camada. A equação utilizada foi a descrita por Vitorello et al. (1989):

258 
$$\%C-C_4 = [(\delta - \delta_a) / (\delta_{pl} - \delta_a)] \times 100$$

259 Em que:

260  $\delta$  = abundância natural  $^{13}C$  das amostras;

261  $\delta_a$  = abundância natural  $^{13}C$  das amostras de solo que não contêm resíduos de plantas C<sub>4</sub>  
262 (FN foi usada como referência);

263  $\delta_p$  = abundância natural  $^{13}\text{C}$  da parte aérea da PA (-13,15‰). O material vegetal da PA  
264 foi coletado, seco em estufa a 40°C, até peso constante e moído em moinho tipo Willey,  
265 a 50 mesh.

266 Para obter a % de C-C<sub>3</sub>, utilizou-se a equação:

$$267 \quad \% \text{ C-C}_3 = 100 - \% \text{ C-C}_4$$

### 268 **3.2.5 Análise estatística**

269 Os dados foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros,  
270 pelo teste de Cochran; e quanto à normalidade pelo teste de Lilliefors. Com os dados  
271 paramétricos, foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo  
272 Teste de LSD – *Least Significant Difference*, a 5% de significância. As análises  
273 estatísticas foram realizadas por meio do *software* Statistica®v.10.0 e a construção dos  
274 gráficos foi realizada pelo *software* Sigmaplot®v.12.0. Este último adotado apenas na  
275 construção dos gráficos.

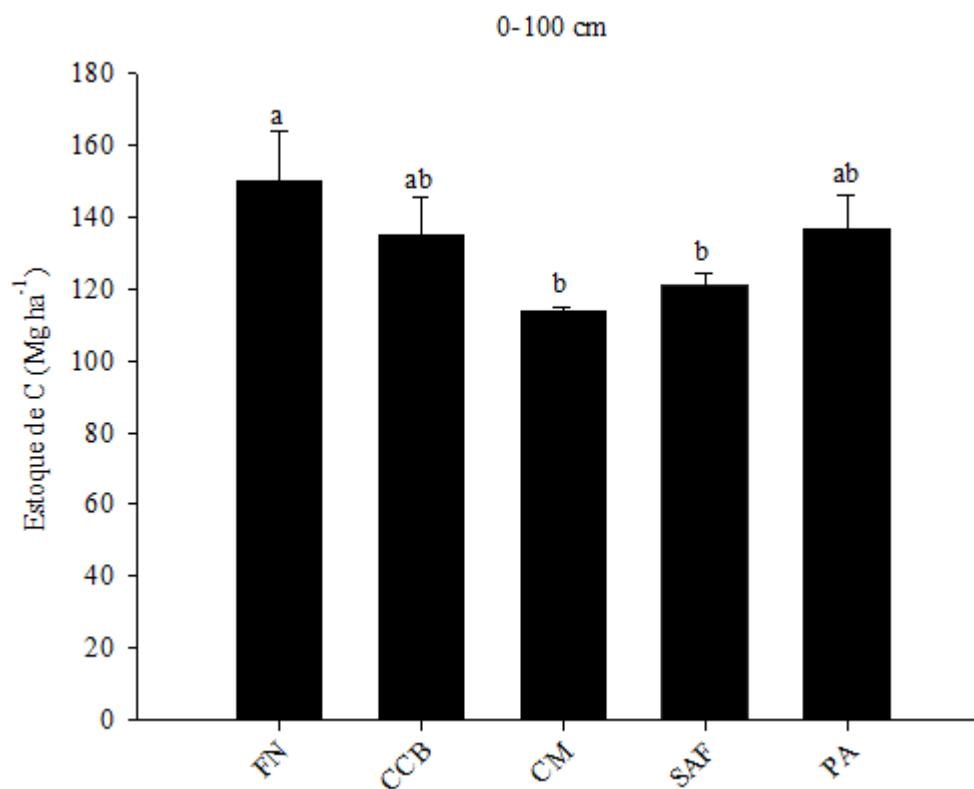
276

## 277 **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 278 **3.3.1 Estoque de carbono orgânico do solo e nitrogênio total do solo**

279

280 O estoque de COS na FN foi superior ao SAF e CM, e os sistemas CCB e PA  
281 não diferiram do CM e SAF em um metro de profundidade (Figura 2).



282

283 **Figura 2.** Estoque de COS do solo, na camada 0-100 cm, em diferentes sistemas  
 284 produtivos (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café  
 285 monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea e PA – pastagem) no  
 286 município de Planalto, Bahia, Brasil.

287

288 A maior quantidade de COS na FN pode ser atribuída à minimização dos efeitos  
 289 antrópicos no ecossistema que permite a manutenção do aporte contínuo de material  
 290 vegetal na superfície do solo, proveniente da queda das folhas e de outros componentes  
 291 das plantas, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS). Os estoques de  
 292 COS são resultantes da interação dos fatores que determinam a formação da matéria  
 293 orgânica e aqueles que promovem sua decomposição (Leite et al., 2003; Silva et al.,  
 294 2004). O estoque de carbono do solo sob floresta nativa representa um equilíbrio entre  
 295 a entrada de fitomassa morta e a perda de CO<sub>2</sub> pela decomposição, havendo um declínio  
 296 no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas  
 297 manejados (Houghton et al., 1991).

298

299 O uso de adubação inorgânica no CCB pode ter favorecido o crescimento da  
 300 cultura e propiciado um efeito positivo no sequestro de COS. A adubação inorgânica  
 301 proporcionou a disponibilização rápida de nutrientes, influenciando no crescimento das  
 plantas, favorecendo o retorno de resíduos para o solo e, conseqüentemente, o acúmulo

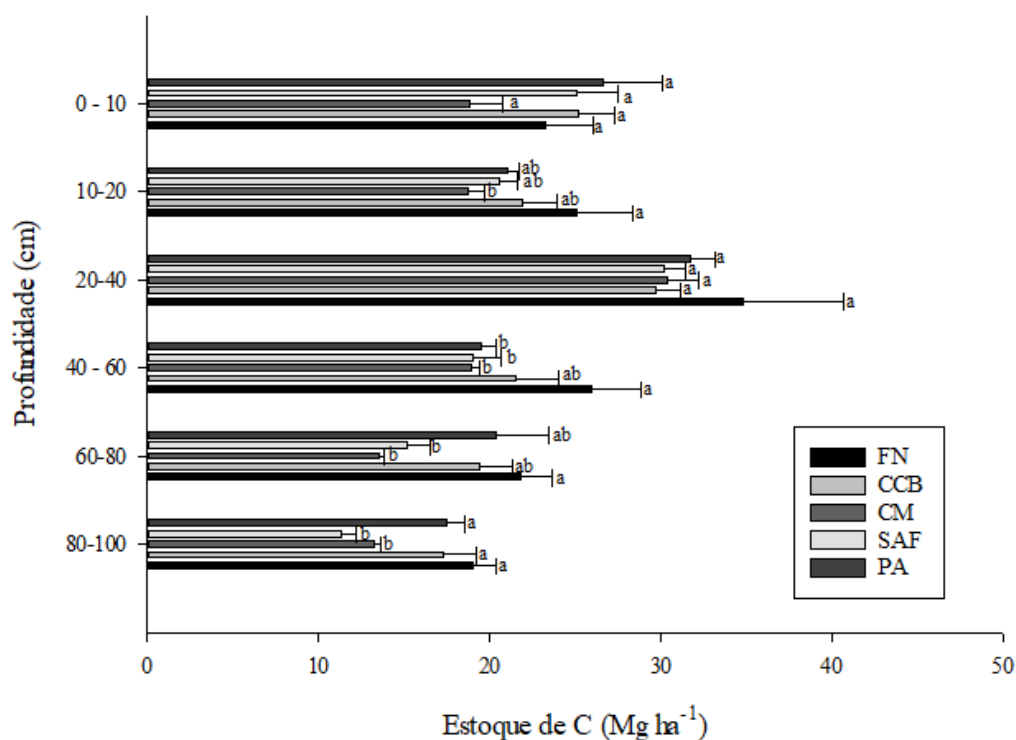
302 de carbono. Segundo Hamer et al. (2009), fertilizantes inorgânicos podem influenciar a  
303 entrada de C, ao afetar o crescimento da cultura, e, por sua vez, o resíduo retornado.  
304 Segundo Lin et al. (2021), a fertilização via adubos inorgânicos aumenta o sequestro de  
305 carbono no solo.

306 A PA estocou mais carbono nas camadas superficiais 0-40 cm (76,62 Mg ha<sup>-1</sup>),  
307 sendo responsável por mais de 50% (57,34%) do C total estocado até 100 cm,  
308 demonstrando que solos sob pastagens mal manejadas apresentam grandes quantidades  
309 de carbono estocado nas camadas superficiais. Em trabalho realizado por Monroe et al.  
310 (2016), foi verificado que o estoque de carbono na PA, na camada 0-40 cm, representou  
311 60,5% do C total até 100cm.

312 Valores encontrados por Silva et al. (2004) mostraram que pastagens formadas  
313 por diferentes espécies podem alcançar 50% do total de carbono estocado no solo,  
314 somente na camada de 0-40 cm. Áreas com gramíneas bem manejadas, no sul da Bahia,  
315 em que a quantidade de COS derivado de *Brachiaria humidicola* (9 anos após o  
316 estabelecimento) foi aproximadamente 50% do COS encontrado no solo em  
317 substituição à vegetação florestal, na camada 0-10 cm (Tarré et al., 2001),  
318 demonstraram que gramíneas bem manejadas estocam mais carbono. Por outro lado, os  
319 solos sob pastagens nem sempre são considerados drenos de C, podendo estar  
320 relacionado com o manejo adotado no sistema, uma vez que, em pastagens que se  
321 encontram em processo de degradação, o C do solo é facilmente perdido (Rosendo e  
322 Rosa, 2012).

323 O estoque de COS nas camadas 0-10 cm e 20-40 cm não variou  
324 significativamente entre os sistemas (Figura 3).





325

326 **Figura 3.** Estoque de carbono orgânico do solo em diferentes profundidades de solos  
 327 (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF  
 328 – sistema agroflorestal café + grevêlea e PA – pastagem) no município de Planalto,  
 329 Bahia, Brasil.

330 Maiores valores de estoque de COS foram encontrados nas camadas superficiais  
 331 0-40 cm (média de 76,62 Mg ha<sup>-1</sup>), representando aproximadamente 58% de C estocado  
 332 em todos os sistemas em 100 cm de profundidade.

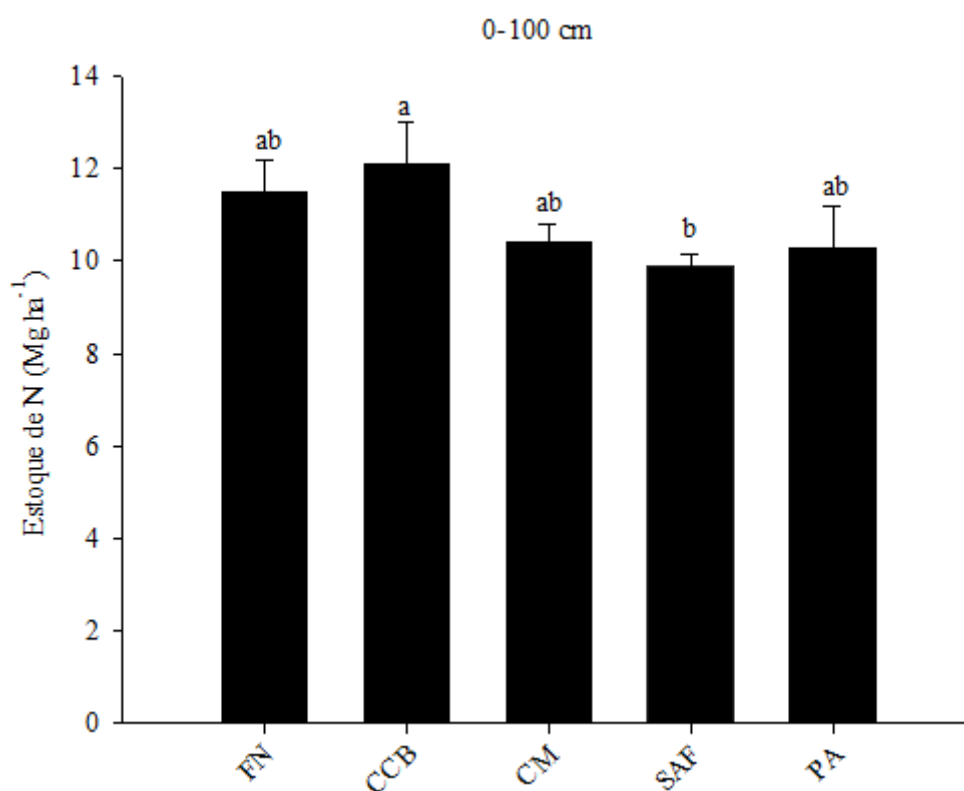
333 A FN estocou mais COS do que o CM na camada 10-20 cm, no entanto, não  
 334 diferiu dos sistemas CCB, SAF, PA (Figura 3). Observa-se que os sistemas diminuíram  
 335 seu estoque de COS com a profundidade.

336 O solo mais exposto do CM pode estar condicionando o baixo estoque de C  
 337 nesse sistema, devido às menores entradas de materiais orgânicos, aumentando a erosão  
 338 do solo e acelerando os processos de mineralização da MOS e a oxidação do COS  
 339 (Araújo et al., 2013).

340 De acordo com Macedo (2009), o monocultivo e as práticas culturais  
 341 inadequadas, como a falta de rotação de culturas, têm causado perda de produtividade,  
 342 ocorrência severa de pragas e doenças, degradação do solo (maior amplitude térmica e  
 343 hídrica, desagregação, compactação, entre outras) e dos recursos naturais, além da  
 344 incorporação de menores quantidades de carbono ao solo.

345 O SAF estocou mais COS em superfície, aproximadamente 62,51% do C total  
346 estocado que, até 100 cm, estavam entre 0-40 cm de profundidade. O estoque de COS,  
347 nas camadas superficiais do solo do SAF, deve-se à contribuição das folhas de  
348 cafeeiros, sendo o principal componente da serapilheira, visto que as grevêneas são  
349 árvores perenes, com baixa taxa de abscisão foliar, sendo pouco vulneráveis aos fatores  
350 ambientais (Muthuri et al., 2005). Isso pode ser observado pela ausência de diferença  
351 estatística do SAF com o CM em todas as profundidades, ou seja, mesmo com a  
352 presença do componente arbóreo, que diferencia os dois sistemas, os resíduos do  
353 componente adicional no SAF não foram suficientes para aumentar o estoque de C em  
354 relação ao CM.

355 O sistema CCB apresentou maior média de estoque de NT até 100 cm de  
356 profundidade, juntamente com os sistemas FN, CM e PA, e foi superior ao SAF (Figura  
357 4).

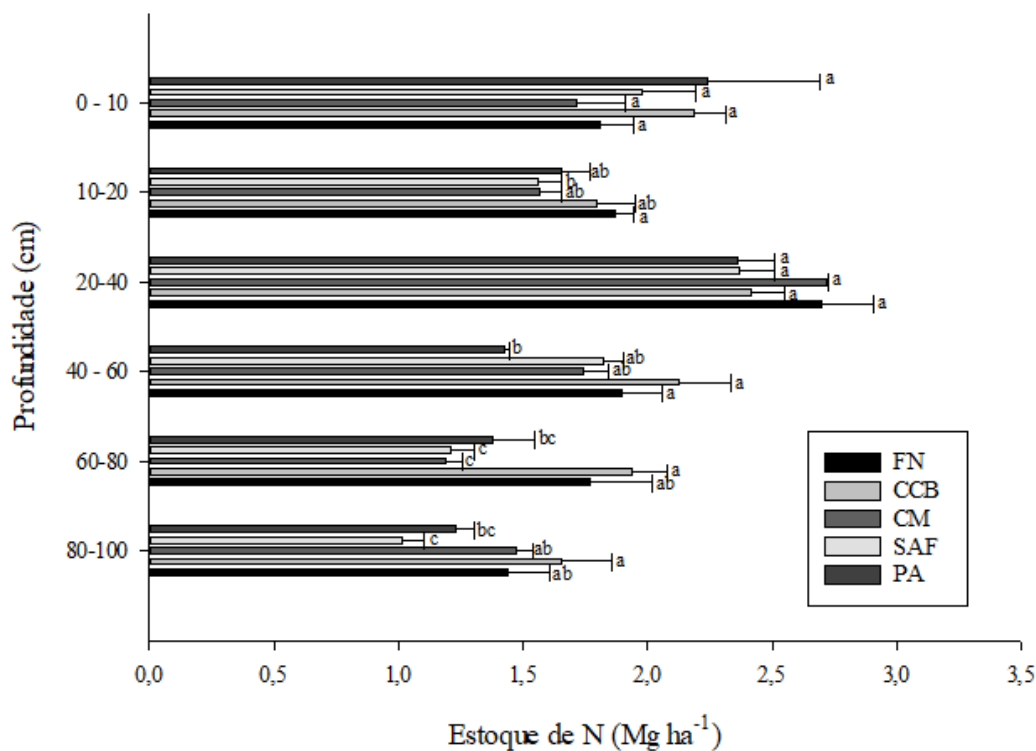


358

359 **Figura 4.** Estoques de NT na camada de solo 0-100 cm em diferentes sistemas  
360 produtivos de café (FN – floresta nativa; CCB – consórcio de café + banana; CM – café  
361 monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevêlea e PA – pastagem) no  
362 município de Planalto, Bahia, Brasil.

363 A maior quantidade de NT, observada no CCB em relação ao SAF, pode ser  
 364 atribuída à adição substancial de fertilização inorgânica, onde foram aplicados ureia e  
 365 NPK ao sistema, o que pode ter reativado a atividade da biomassa microbiana e,  
 366 juntamente com os resíduos vegetais, promoveu a mineralização do N-orgânico (efeito  
 367 priming). O fornecimento de N pode acelerar ou retardar a ciclagem da MOS com  
 368 liberação de N-inorgânico (Kuzyakov et al., 2000). Em estudo realizado por Mahal et al.  
 369 (2018), foi observado que a adição de adubos inorgânicos aumentou o N em até 19%.

370 O estoque de NT, nas camadas 0-10 cm e 20-40 cm, não variou  
 371 significativamente entre os sistemas (Figura 5).



372  
 373 **Figura 5.** Estoque de NT em diferentes profundidades de solos (FN – floresta nativa;  
 374 CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema  
 375 agroflorestal café + grevêlea e PA – pastagem) no município de Planalto, Bahia, Brasil.

376  
 377 Os sistemas tiveram maiores valores de NT nas camadas mais superficiais (0-40  
 378 cm) de profundidade. Os ciclos do carbono e do nitrogênio estão intimamente  
 379 relacionados e qualquer redução no estoque de carbono orgânico do solo, causado pelas  
 380 alterações no seu uso, reflete diretamente no estoque de nitrogênio (Bortolon et al.,  
 381 2009). Silva (2007) afirma que existe correlação positiva entre COT e NT do solo, o que  
 382 corrobora os resultados do presente trabalho.

383 O SAF apresentou maior quantidade de NT nas camadas superficiais. No caso da  
384 grevilea, trabalhos relatam a capacidade da espécie em promover um fluxo de nutrientes  
385 de camadas mais profundas do solo para a superfície, por meio da deposição da  
386 serapilheira (Niranjana et al., 2008; Kindu et al., 2006).

387 Observa-se uma diminuição no NT da PA, nas profundidades 40-100 cm, devido  
388 à redução na distribuição do sistema radicular. Muitas espécies de gramíneas, quando  
389 bem manejadas, alcança uma profundidade de 2 metros ou mais. Por outro lado,  
390 pastagens mal manejadas, segundo Müller et al. (2001), apresentam diminuição do  
391 número de raízes no perfil do solo e concentração do sistema radicular próximo à  
392 superfície, com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais,  
393 corroborando os resultados do presente estudo.

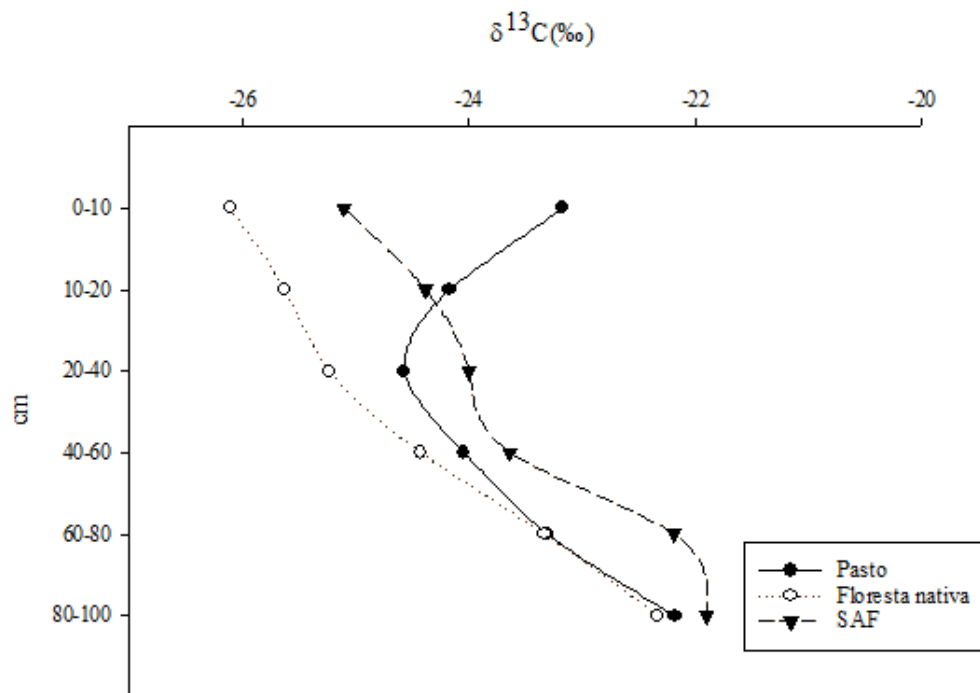
394

### 395 **3.3.2 Variação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ com a profundidade do solo**

396

397 As diferenças nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais pronunciadas nas camadas mais  
398 superficiais do solo. O sistema FN apresentou os menores valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , sendo  
399 verificada variação de -26,11‰ (0-10 cm) e -25,63‰ (10-20 cm), com progressivo  
400 aumento nas camadas inferiores (Figura 6), apresentando valores dentro da faixa  
401 adotada para carbono de origem  $\text{C}_3$ , que é entre -24 a -34 ‰ (Smith e Epstein, 1971).  
402 Esses valores estão próximos aos obtidos por outros estudos realizados, assim como em  
403 outros biomas brasileiros (Monroe et al., 2016; Carvalho et al., 2017).

404



405  
 406 **Figura 6.** Variação de  $\delta^{13}\text{C}$  com a profundidade do solo na Floresta nativa (FN),  
 407 pastagem (PA) e sistema agroflorestal café + grevilea (SAF).

408 As plantas superiores que fixam  $\text{CO}_2$  através da rubisco (via  $\text{C}_3$ ) têm composição  
 409 isotópica ( $^{13}\text{C}$ ) que varia de  $-24$  a  $-34\text{‰}$ , enquanto que, nas plantas que fixam  $\text{CO}_2$  pela  
 410 PEPcase (via  $\text{C}_4$ ), o  $^{13}\text{C}$  varia de  $-6$  a  $-19\text{‰}$  (Smith e Epstein, 1971). Assim, observa-se  
 411 que, a partir dos 40 cm de profundidade no SAF ( $-23,64\text{‰}$ ) e a partir dos 60 cm de  
 412 profundidade na FN ( $-23,33\text{‰}$ ), os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ficaram na faixa da mistura de  $\text{C}_3$  e  
 413  $\text{C}_4$  (Figura 5).

414 Observa-se enriquecimento de  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade nos sistemas avaliados,  
 415 padrão também verificado por outros trabalhos (Telles et al., 2003; Dortzbach et al.,  
 416 2015) e uma padronização em todos os sistemas, a partir dos 40 cm de profundidade,  
 417 refletindo uma maior influência dos sistemas nas camadas superficiais e menor  
 418 influência nas camadas subsuperficiais. Esse incremento em profundidade pode estar  
 419 relacionado tanto com a migração e redeposição de partículas de argila, que  
 420 normalmente carregam maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$ , resultando nos aumentos dos valores de  
 421  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade; como as diferenças que ocorrem nas taxas de decomposição de  
 422 resíduos orgânicos com diferentes assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$ , como celulose e hemicelulose,  
 423 que são frequentemente 1-2 % mais enriquecidos em  $\delta^{13}\text{C}$ , enquanto a lignina é 2-6 %  
 424 inferior em relação ao valor  $\delta^{13}\text{C}$  do tecido total da planta (Liu et al., 2013).

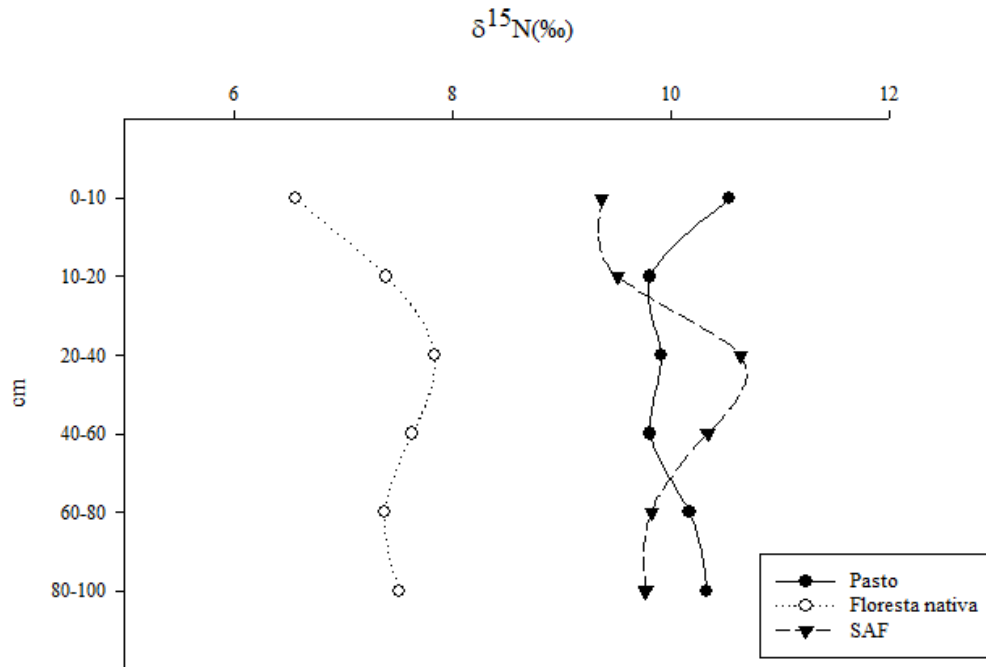
425           Esse incremento dos valores em profundidade pode ser atribuído ao fato de o  
426  $\delta^{13}\text{C}$  de  $\text{CO}_2$  diminuir entre 1-2 ‰ ao longo dos últimos 130 anos, como resultado da  
427 queima de combustíveis fósseis e mineralização (Liu et al., 2013).

428           Na pastagem, até 40 cm, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 cm, os valores  
429  $\delta^{13}\text{C}$  foram -23,17‰, -24,17‰ e -24,57‰, respectivamente, indicando que a  
430 contribuição das plantas  $\text{C}_4$  diminuiu com a profundidade. Segundo Orgill et al. (2015),  
431 essa é uma característica de pastagem mal manejada que apresentam um sistema  
432 radicular mais superficial, denso, com grande extensão lateral e volume, contribuindo  
433 para o aumento do carbono no solo nas camadas superficiais através da decomposição  
434 dessa biomassa radicular. Pequena influência de  $\text{C-C}_4$ , abaixo dos 40-60 cm, também foi  
435 reportada por Monroe et al. (2016), avaliando o efeito de pastagens de *Brachiaria* no  
436 bioma Mata Atlântica no sul da Bahia, sendo as maiores influências apenas nas camadas  
437 mais superficiais (0-20 cm).

438           A substituição de  $\text{C-C}_4$  por  $\text{C-C}_3$  no COS, no SAF, ocorre devido ao aporte  
439 contínuo de material vegetal do cafeeiro e grevilea e à renovação das raízes. Estudos  
440 recentes evidenciam que o SAF com cafeeiro eleva a capacidade de armazenamento de  
441 carbono na biomassa acima do solo (Feliciano et al., 2018), no solo e na biomassa  
442 subterrânea (Nair et al., 2009; Belizário et al., 2018).

443           Segundo Harwood et al. (1990), a grevilea possui sistema radicular profundo,  
444 capaz de translocar nutrientes das partes profundas do solo para a copa e retorná-los à  
445 superfície do solo pela decomposição da serapilheira. De acordo com os resultados  
446 obtidos por Jangra et al. (2010), a espécie também tem sido avaliada para melhoria da  
447 qualidade do solo e sequestro de carbono.

448           Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  da FN apresentaram um enriquecimento isotópico, de acordo  
449 com o aumento da profundidade, devido ao aumento do fracionamento do  $\delta^{15}\text{N}$  durante  
450 a mineralização da matéria orgânica (Högberg, 1997), que enriquece o solo com valores  
451 mais altos de  $\delta^{15}\text{N}$ . Já o SAF e o PA não apresentaram uma tendência bem definida da  
452 distribuição de  $\delta^{15}\text{N}$  no perfil do solo (Figura 7). No sistema FN, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$   
453 variaram de 6,56 a 7,84‰; no SAF verificaram-se valores entre 9,37 e 10,64‰; e no  
454 PA, valores entre 9,81 e 10,54 ‰.



455

456 **Figura 7.** Variação de  $\delta^{15}\text{N}$  com a profundidade do solo na floresta nativa (FN),  
 457 pastagem (PA) e sistema agroflorestal café + grevilea (SAF).

458

459 O enriquecimento dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  em profundidade, observado na FN, pode  
 460 ser atribuído à constante adição da matéria orgânica das plantas nas camadas  
 461 superficiais do solo e, também, estar relacionado às transformações de N-orgânico para  
 462 N-mineral. Dessa forma, na medida em que as reações de mineralização, nitrificação,  
 463 denitrificação e volatilização ocorrem associadas às assimilações de N pelas plantas,  
 464 tem-se maior decomposição do isótopo mais leve de N ( $^{14}\text{N}$ ), deixando a matéria  
 465 orgânica restante enriquecida em átomos de  $^{15}\text{N}$  (Hogberg, 1997; Bustamante et al.,  
 466 2004). Além disso, o  $\delta^{15}\text{N}$  foliar é geralmente mais baixo do que o do solo, e a  
 467 deposição de serapilheira contribui para que os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  decresçam nas camadas  
 468 de solo superficiais (Bustamante et al., 2004). O incremento de  $\delta^{15}\text{N}$ , nas camadas de  
 469 solo mais profundas, também foram observadas para florestas tropicais e savanas, em  
 470 diferentes fitofisionomias (Piccolo et al., 1996; Koopmans et al., 1997; Bustamante et  
 471 al., 2004; Brenner et al., 2005; Ometto et al., 2006).

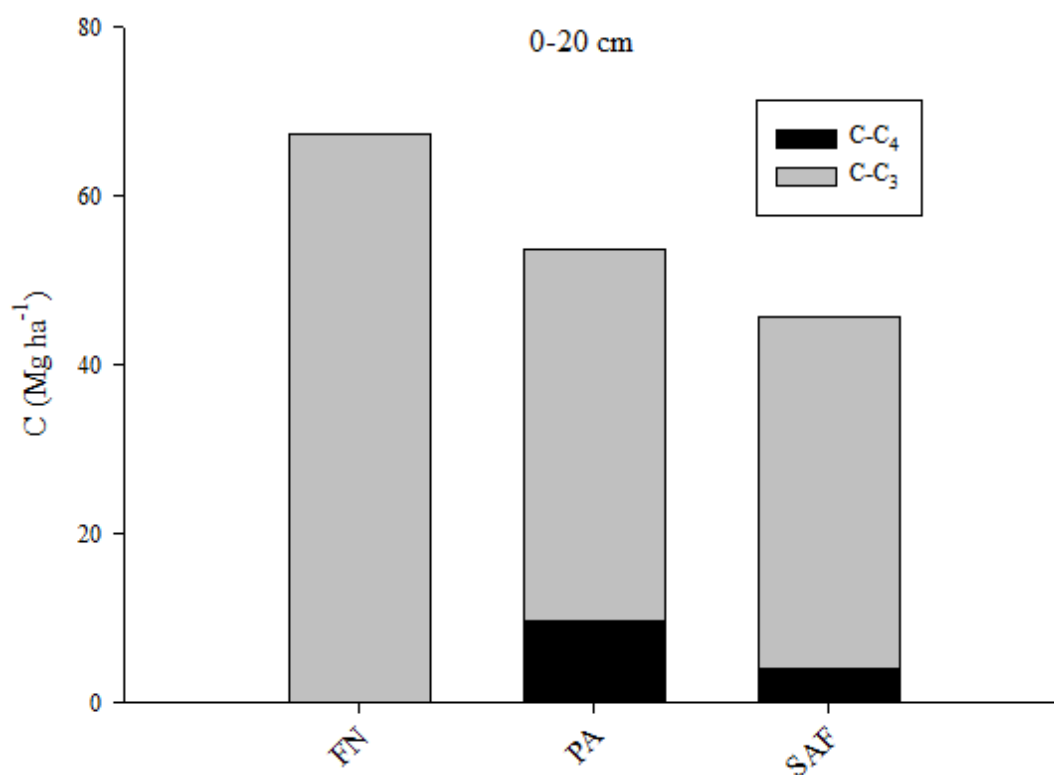
472

473 Comparando os sistemas FN e SAF, maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foram encontrados  
 474 no SAF. Em geral, ecossistemas transformados são tipicamente mais enriquecidos  
 475 em  $^{15}\text{N}$  do que as florestas (Nadelhoffer e Fry, 1994). Esse resultado também pode ser  
 atribuído ao uso de adubação orgânica no SAF, já que, segundo Yoneyama (1996), a

476 adição constante de esterco animal pode acarretar em enriquecimento isotópico de  
477  $^{15}\text{N}$ , pois esterco são normalmente mais enriquecidos em  $^{15}\text{N}$  do que o solo.

478 FN e SAF apresentaram os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  na camada superficial (0-  
479 10cm), 6,56 e 9,37%, respectivamente. Segundo Bustamante et al. (2004), o  $\delta^{15}\text{N}$  foliar  
480 é geralmente mais baixo do que o do solo e a deposição de serapilheira contribui para  
481 que os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  decresçam nas camadas de solo superficiais.

482 A quantidade do COS de origem  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  é mostrada na Figura 8, na camada 0-20  
483 cm. Abaixo desta camada, as variações entre o  $\text{C}-\text{C}_3$  e  $\text{C}-\text{C}_4$ , em todos os sistemas,  
484 foram menos perceptíveis, o mesmo foi observado no trabalho realizado por Monroe et  
485 al. (2016), os quais observaram uma predominância de  $\text{C}-\text{C}_3$  em todos os sistemas.



486  
487 **Figura 8.** Estoque de Carbono de resíduos derivados de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  na profundidade  
488 de 20 cm do solo na floresta nativa (FN); pastagem (PA) e sistema agroflorestal café +  
489 grevílea (SAF). As diferenças ocorreram somente na camada 0-20 cm. As outras  
490 profundidades foram desprezadas.

491  
492 O SAF substituiu aproximadamente  $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  do  $\text{C}-\text{C}_4$  da PA, indicando que a  
493 quantidade de resíduos  $\text{C}_3$ , aportados pelo SAF, contribuiu de forma significativa para  
494 substituição do  $\text{C}-\text{C}_4$ . Observou-se também que  $41,60 \text{ Mg ha}^{-1}$  do COS foram derivados  
495 de resíduos de planta  $\text{C}_3$  e  $3,99 \text{ Mg ha}^{-1}$  ao  $\text{C}_4$ . Com os valores encontrados nos 20 cm, é



496 possível afirmar que o C-C<sub>3</sub> seja de maior contribuição à plantação do café e da  
497 grevilea.

498 No total de 53,90 Mg ha<sup>-1</sup> de COS da PA, na camada 0-20 cm, 9,68 Mg ha<sup>-1</sup>  
499 foram derivados de resíduos de plantas C<sub>4</sub> (Figura 7), sendo o restante de origem C<sub>3</sub>,  
500 provavelmente, remanescente da cobertura vegetal nativa que havia na área antes da  
501 implantação da gramínea. O estoque de COS encontrado na PA se deve à deposição de  
502 biomassa no solo pelo sistema radicular das gramíneas, que apresenta sistema radicular  
503 pouco profundo, podendo ser encontrado 83% dessa biomassa nos primeiros 30 cm do  
504 solo (Jackson et al., 1996; Martinez et al., 2016).

505

### 506 **3.4 CONCLUSÕES**

507 Os maiores estoques de COS e NT do solo, em todos os sistemas, são  
508 encontrados na camada 0-40 cm do solo, possivelmente como resultado da maior  
509 contribuição de raízes e adição de resíduos;

510 As diferenças nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  são mais pronunciadas nas camadas mais  
511 superficiais do solo, havendo uma padronização em todos os sistemas a partir dos 40 cm  
512 de profundidade. O SAF proporcionou a substituição do C-C<sub>4</sub> por C-C<sub>3</sub>, provavelmente  
513 pelo aporte contínuo de material vegetal do cafeeiro e grevilea e pela renovação das  
514 raízes;

515 O SAF também proporcionou enriquecimento isotópico de  $\delta^{15}\text{N}$  em relação à  
516 floresta nativa, refletindo o efeito da adição constante de adubação orgânica, já que os  
517 esterco normalmente são mais enriquecidos em <sup>15</sup>N do que o solo.

### 518 **3.5 AGRADECIMENTOS**

519 À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela  
520 concessão da bolsa ao primeiro autor; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
521 Nível Superior (CAPES); e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

### 522 **3.6 REFERÊNCIAS**

523

524 Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Golçalves, J. L. M.; Sparovek, G. (2014).  
525 Köppen's climate classification map for Brasil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6,  
526 p. 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

527

528 Araújo, A. V., Partelli, F. L., Olios, I. G., Pezzopane, J. R. M. (2016). Microclimate,  
529 development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun.

530 Revista Ciência Agronômica, v. 47, n. 4, p. 700-709. <https://doi.org/10.5935/1806->  
531 6690.20160084.

532

533 Araújo, A. O.; Mendonça, L. A. R.; Lima, M. G. S.; Feitosa, V. J.; Silva, F. J. A.; Ness,  
534 R. L. L.; Frischkorn, H.; Simplício, A. A. F.; Kerntopf, M. F. (2013). Modificações nas  
535 propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. Revista  
536 Brasileira Ciência do Solo. v. 37, p.317-326. <https://doi.org/10.1590/S0100->  
537 06832013000300022.

538

539 Belizário, M. H., Ferrão, G. D. E., Cerri, C. C., Siqueira-Neto, M. (2018). Soil carbon  
540 stocks cultivated with coffee in the brazilian savanna: effect of cultivation time and use  
541 of organic compost. Coffee Science, v. 13, n. 1, p. 53- 62.  
542 <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v13i1.1366>.

543

544 Bortolon, E. S. O.; Mielniczuk, J.; Tornquist, C. G.; Lopes, F.; Fernandes, F. F. (2009).  
545 Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul  
546 usando modelo Century. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p.1635-1646.  
547 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600012>.

548

549 Bustamante, M. M. C., Martinelli, L. A., Silva, D. A., Camargo, P. B., Klink, C. A.  
550 Domingues, T. F., Santos, R. V. (2004). <sup>N</sup>15 natural abundance in Woody plants and  
551 soils of central Brazilian savannas (cerrado). Ecological Applications, n. 14, p. 200-  
552 213. <https://doi.org/10.1890/01-6013>.

553

554 Brasil. (1994). Resolução CONAMA nº. 1, de 31 de Janeiro de 1994. Brasília: Diário  
555 Oficial da União, 1684-1685 p.

556

557 Brenner, R. E., Boone, R. D., Ruess, R. W. (2005). Nitrogen additions to pristine,  
558 highlatitude, forest ecosystems: consequences for soil nitrogen transformations and  
559 retention in mid and late succession. Biogeochemistry, v. 72, p. 257-82.  
560 <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0356-y>.

561

562 Carvalho, D. C.; Pereira, M. G.; Guareschi, R. F.; Simon, C. A.; Toledo, L. O., Piccolo,  
563 M. C. (2017). Carbono, Nitrogênio e Abundância Natural de  $\delta^{13}\text{C}$  do Solo em  
564 Coberturas Florestais. Floresta e Ambiente, v.24: e20150093.  
565 <https://doi.org/10.1590/2179-8087.009315>.

566

567 Conab - Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira:  
568 café. Monitoramento agrícola - Safra 2020, v.5 nº6, 2020.

569

570 Couto, W. H.; Anjos, L. H. C.; Pereira, M. G.; Guareschi, R. F.; Assunção, S. A.; Wadt,  
571 P. G. S. (2017). Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N do Solo sob  
572 Sistemas Agroflorestais. Floresta e Ambiente, v. 24: e00117614.  
573 <https://doi.org/10.1590/2179-8087.117614>.

574

575 Dortzbach, D., Pereira, M, G., Blainiski, E., González, A. P. (2015). Estoque de C e  
576 Abundância Natural de <sup>13</sup>C em Razão da Conversão de Áreas de Floresta e Pastagem  
577 em Bioma Mata Atlântica. R. Bras. Ci. Solo, v. 39, p.1643-1660.  
578 <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140531>.

579

580 Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise  
581 de solo/Paulo César Teixeira. Editores técnicos. 3. ed. rev. e ampl. 573 p.: il. color.  
582 ISBN 978-85-7035-771-7 Brasília, DF: Embrapa, 2017.  
583  
584 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Manual de métodos de análises de  
585 solo. 2.ed. Rio de Janeiro.  
586  
587 Ellert, B. H., Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in  
588 soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75:529-  
589 538. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>.  
590  
591 Feliciano, D., Ledo, A., Hilier, J., Nayak, D. R. (2018). Which agroforestry options give  
592 the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?  
593 *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 265, p. 117-129.  
594 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>.  
595  
596 Guareschi, R. F., Pereira, M. G., Perin, A. (2014). Carbono, nitrogênio e abundância  
597 natural de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no  
598 cerrado goiano, R. Bras. Ci. Solo, 38:1135-1142. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400009)  
599 [06832014000400009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400009).  
600  
601 Guareschi R. F., Pereira, M. G., Perin A. (2012). Deposição de resíduos vegetais,  
602 matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob  
603 diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*.  
604 v. 36, n.2, p. 909-920. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.  
605  
606 Hamer, U., Potthast, K., Makeschin, F. (2009). Urea fertilisation affected soil organic  
607 matter dynamics and microbial community structure in pasture soils of Southern  
608 Ecuador. *Applied Soil Ecology*, v. 43, n. 2-3, p. 226-233.  
609 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.001>.  
610  
611 Harwood, C. E.; Getahun, (1990). A. Australian tree finds success in Africa.  
612 *Agroforestry Today*, n.2, p. 10.  
613  
614 Houghton, R. A., Skole. D. L., Lefkowitz, D. S. (1991). Changes in the landscape of  
615 Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *For.*  
616 *Ecol. Manag.*, v. 38, p. 173-199. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90141-H](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90141-H).  
617  
618 Hogberg, P. (1997). Tansley Review <sup>15</sup>N natural abundance in soil-plant systems. *New*  
619 *Phytol.*, v.137, p.179-203. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00808.x>.  
620  
621 IBGE, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Instituto Brasileiro de Geografia  
622 e Estatística - IBGE.  
623  
624 Iwata, B. F., Leite, L. F. C., Araújo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L., Gehring, C., Campos,  
625 L. P. (2012). Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em  
626 Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia*  
627 *Agrícola e Ambiental*. v.16, n.7, p. 730-738.  
628 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700005>.  
629

- 630 Jackson, R. B., Canadell, J., Ehleringer, J. R. (1996). A global analysis of root  
631 distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, v. 108, p. 389–411.  
632 <https://doi.org/10.1007/BF00333714>.  
633
- 634 Jangra, R., Gupta, S. R., Kumar, R., Singh, G. (2010). Carbon sequestration in the  
635 *Grevillea robusta* plantation on a reclaimed sodic soil at Karnal in Northern India.  
636 *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, v. 36, n. 1, p. 75-86.  
637
- 638 Kindu, M., Glatzel, G., Tadesse, Y., Yosef, A. (2006). Tree species screened on nitosols of  
639 central Ethiopia: biomass production, nutrient contents and effect on soil nitrogen. *Journal*  
640 *of Tropical Forest Science*, Kuala Lumpur, v. 18, n. 3, p. 173-180.  
641
- 642 Koopmans, C. J., Van, D. D., Tietema, A., Verstraten, J. M. (1997). Natural  $^{15}\text{N}$   
643 abundance in two nitrogen saturated forest ecosystems. *Oecologia*, n.111, p.470–80.  
644 <https://doi.org/10.1007/s004420050260>.  
645
- 646 Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification  
647 of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.32, n.11-12, p.1485-1498.  
648 [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00084-5).  
649
- 650 Leite, L. F. C., Mendonça, E. S., Neves, J. C. L., Machado P. L. O. A., Galvão, J. C. C.  
651 (2003). Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob  
652 floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, n.  
653 27, p. 821-832. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>.  
654
- 655 Lemma, B., Klejac, D.B., Nilssonc, I., Olssonb, M. (2006). Soil carbono sequestration  
656 under different exotic tree species in the southwestern highlands of Ethiopia. *Geoderma*,  
657 136:886–898. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.06.008>.  
658
- 659 Lin, S.; Zhan, S.; Shen, G.; Shaaban, M.; Ju, W.; Cui, Y.; Duan, C.; Fang. (2021).  
660 Effects of inorganic and organic fertilizers on  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  fluxes from tea plantation  
661 soil. *Elem Sci Anth*, v.9, n.1, p. 1-13. <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.090>.  
662
- 663 Liu, N., Gallino, R., Bisterzo, S., Davis, A. M., Savina, M. R., Pellin, M. J. (2013). The  
664  $^{13}\text{C}$ -pocket structure in AGB models: Constraints from zirconium isotope abundances in  
665 single mainstream sic grains. *Astrophys J.* v.788, n.163. [https://doi.org/10.1088/0004-](https://doi.org/10.1088/0004-637X/788/2/163)  
666 [637X/788/2/163](https://doi.org/10.1088/0004-637X/788/2/163).  
667
- 668 Loss, A., Pereira, M. G., Perin, A., Anjos, L. H. C. (2014). Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$   
669 e  $\delta^{15}\text{N}$  em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. *Bioscience Journal*, v.30,  
670 n.3, p. 604-615. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400009>.  
671
- 672 Loss, A., Pereira, M. G., Perin, A., Beutler, S. J., Anjos, L. H. C. (2012). Carbon,  
673 nitrogen and natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  of light fraction organic matter under no-  
674 tillage and crop-livestock integration systems. *Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá*, v.  
675 34, n. 4, p. 465-472, Oct.-Dec. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i4.15061>.  
676
- 677 Maggiotto, S. R., Oliveira, D., Marur, C. J., Stivari, S. M. S., Leclerc, M., Wagner-  
678 Riddle, C. (2014). Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the

679 northwestern region of the Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum, Agronomy*, n. 36, p.  
680 239-245. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i2.17404>.

681

682 Macedo, M. C. M. (2009). Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações  
683 tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.133-146.  
684 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>.

685

686 Mahal, N. K., Castellano, M. J., Miguez, F. E. (2018). Conservation agriculture  
687 practices increase potentially mineralizable nitrogen: A meta-analysis. *Soil Science*  
688 *Society of America Journal*, n. 82, v.5, p. 1270-  
689 1278. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0245>.

690

691 Martinez, C., Alberti, G., Cotrufo, M. F. (2016). Belowground carbon allocation  
692 patterns as determined by the in-growth soil core <sup>13</sup>C technique across different  
693 ecosystem types. *Geoderma*, v. 263, p. 140–150.  
694 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.043>.

695

696 Mendonça, L. A. R., Frischkorn, H., Santiago, M. F., Camargo, P. B., Lima, J. O. G.,  
697 Mendes, F. J. (2010). Identificação de mudanças florestais por <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N dos solos da  
698 Chapada do Araripe/Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*,  
699 14:314-319. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300012>.

700

701 Monroe, P. H. M., Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Marques, J. R. B.  
702 (2016). Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in  
703 Southern Bahia, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 221, p. 99-108.  
704 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.022>.

705

706 Muller, M. M. L., Guimarães, M. F., Desjardins, T., Martins, P. F. S. (2001).  
707 Degradação das pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e  
708 crescimento das raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-  
709 1418. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100012>.

710

711 Muthuri, C. W., Ong, C. K., Black, C. R., Ngumi, V. W., Mati, B. M. (2005). Tree and  
712 crop productivity in *Grevillea*, *Alnus* and *Paulownia*-based agroforestry systems in  
713 semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management*, v. 212, n. 1-3, p. 23-39.  
714 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.059>.

715

716 Nair, P. K. R., Kumar, B. M., Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon  
717 sequestration. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, v,172, p.10–23.  
718 <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>.

719

720 Naldhoffer, K.J.; Fry, B. (1994). Nitrogen isotope studies in forested ecosystems. In:  
721 LAJTHA, K.; MICHENER, R.H. (Eds) *Stable isotope in ecology and environmental*  
722 *science*. Oxford: Blackwell, p. 22-44.

723

724 Niranjana, K. S., Viswanath, S. (2008). Root characteristics of tea (*Camelia sinensis*  
725 (L.) O. Kuntze) and silver oak (*Grevillea robusta* A. Cunn) in a mixed tea plantation at  
726 Munnar, Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*, v. 46, n. 1-2, p. 25-31.

727

728 Nwite, J. N.; Orji, J. E.; Okolo, C. C. (2018). Effect of different land-use systems on  
729 soil carbon storage and structural indices in Abakaliki, Nigeria. *Indian J Ecol*, v. 45, n.  
730 3, p. 522-527.  
731

732 Oelbermann, M., Voroney, R. P., Kass, D. C. L., Schlönvoigt, A. M. (2006). Soil  
733 carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19- and 10-year old tropical  
734 agroforestry systems. *Geoderma*, 130:356–367.  
735 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.02.009>.  
736

737 Ometto, J. P. H. B., Ehleringer, J. R., Domingues, T. F. et al. (2006). The stable carbon  
738 and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin,  
739 Brazil. *Biogeochemistry* v. 79, p. 251–74. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9008-8>.  
740

741 Orgill, S.E., Spoljaric, N., Kelly, G. (2015). Soil carbon under perennial pastures;  
742 benchmarking the influence of pasture age and management. *Soil Change Matters*, v.25,  
743 p.1-4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/25/1/012018>.  
744

745 Okolo, C. C., Gebresamuel, G., Zenebe, A., Haile, M., Eze, P. N. (2020). Accumulation  
746 of organic carbon in various soil aggregate sizes under different land use systems in a  
747 semi-arid environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 297, p. 1-13.  
748 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106924>.  
749

750 Piccolo, M. C., Neill, C., Melillo, J. M., Cerri, C. C.; Steudler, P. A. (1996). <sup>15</sup>N natural  
751 abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. *Plant Soil*, v. 182,  
752 p. 249–58. <https://doi.org/10.1007/BF00029056>.  
753

754 Rosendo, J. S., Rosa, R. (2012). Comparação do estoque de C estimado em pastagem e  
755 vegetação nativa de cerrado. *Sociedade & Natureza*, v.24, n.2, p.359- 379.  
756 <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014>.  
757

758 Santos, J. B., Ramos, A. C., Azevedo Junior, R., Oliveira Filho, L. C. I., Baretta, D.,  
759 Cardoso, E. J. B. N. (2018). Soil macrofauna in organic and conventional coffee  
760 plantations in Brazil. *Biota Neotropica*, v. 18, n.2. [https://doi.org/10.1590/1676-0611-](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515)  
761 [BN-2018-0515](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515).  
762

763 Santiago, W. R., Vasconcelos, S. S., Kato, O. R., Bispo, C. J. C., Rangel-Vasconcelos,  
764 L. G. T., Castellani, D. C. (2013). Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas  
765 agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. *Acta Amazonica*, v. 43, n4, p.  
766 395-406. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400001>.  
767

768 Silva, J. E., Resck, D. V. S., Corazza, E. J., Vivaldi, L. (2004). Carbon storage in clayey  
769 Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and*  
770 *Environment*, v. 103, p.357-363. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>.  
771

772 Siqueira Neto, M., Scopel, E., Corbeels, M., Cardoso, A. N., Douzet, J. M., Feller, C.,  
773 Piccolo, M. C., Cerri, C. C., Bernoux, M. (2010). Soil carbon stocks under no-tillage  
774 mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farms synchronic  
775 assessment. *Soil Till. Res.*, v.110, p.187-195. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.010>.  
776

777 Smith, B. N.; Epstein, S. (1971). Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants.  
778 *Plant Physiology, Waterbury*, v. 47, n. 3, p. 380-384.  
779 <https://doi.org/10.1104/pp.47.3.380>.  
780  
781 Vitorello, V.A., Cerri, C.C., Anderson, F., Feller, C., Victoria, R.L. (1989). Organic  
782 matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil*  
783 *Science Society of America Journal*, 53:773-778.  
784 <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300030024x>.  
785  
786 Takimoto, A. Nair., V.D., Nair, P. K. R. (2009). Contribution of trees to soil carbon  
787 sequestration under agroforestry systems in the west African Sahel. *Agroforestry*  
788 *Systems*, 76:11-25. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9179-5>.  
789  
790 Takimoto, A., Nair, P. K. R., Nair, V. D. (2008). Carbon stock and sequestration  
791 potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel.  
792 *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.125, p.159–166.  
793 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.12.010>.  
794  
795 Tarré, R. M., Macedo, R., Cantarutti, R. B. de P., Rezende, C., Pereira, J. M., Ferreira,  
796 E., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M. (2001). The effect of the presence of a  
797 forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the  
798 Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant and Soil*, v. 234, p.15–26.  
799 <https://doi.org/10.1023/A:1010533721740>.  
800  
801 Telles, E. D. C., Camargo, P. B., Martinelli, L. A., Trumbore, S. E., Costa, E. S., Santos, J.,  
802 Higuchi, N., Oliveira, R. C. (2003). Influence of soil texture on carbon dynamics and  
803 storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochem Cycles*.  
804 v.17. <https://doi.org/10.1029/2002GB001953>.  
805  
806 Yoneyama, T. (1996). Characterization of natural  $^{15}\text{N}$  abundance of soils. In: Boutton,  
807 T. W. Yamsahi, S., (Ed.) *Mass Spectrometry of Soils*. Marcel Dekker: New York,  
808 p.225-246.  
809  
810 Zhang, M., Fu, X., Feng, W., Zou, X. (2007) Soil organic carbon in pure rubber and tea-  
811 rubber plantations in South-western China. *Tropical Ecology*, 48:201-207.  
812  
813  
814  
815  
816  
817  
818  
819  
820  
821

**4 ARTIGO II**

**PROTEÇÃO FÍSICA DO CARBONO E NITROGÊNIO POR MEIO DE  
AGREGADOS DO SOLO EM SISTEMAS PRODUTIVOS DE CAFÉ**

---

**Situação:** Não submetido



1 **Proteção física do carbono e nitrogênio por meio de agregados do solo em sistemas**  
2 **produtivos de café**

3  
4  
5 Walleka Pereira Medeiros de Oliveira<sup>1</sup>, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia<sup>2</sup>,  
6 Paulo Henrique Marques Monroe<sup>2</sup>

7 <sup>1</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Programa de Pós-Graduação em  
8 Agronomia, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
9 Conquista, BA, Brasil.

10 <sup>2</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Departamento de Engenharia  
11 Agrícola e Solos, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
12 Conquista, BA, Brasil.

13 Autor para correspondência: wallekap@hotmail.com  
14

15 **Resumo**

16 Os agregados do solo desempenham um papel importante na redução das perdas de  
17 carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total do solo (NT), pois funcionam como  
18 uma barreira física à decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). Os objetivos  
19 deste estudo foram verificar mudanças na distribuição dos agregados do solo e nos  
20 estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo ocluso no interior dos agregados em  
21 três sistemas de cultivo de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café +  
22 banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea), utilizando como referência uma  
23 floresta nativa (FN). Amostras de solo foram coletadas em seis profundidades (0-10, 10-  
24 20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) e fracionadas para obtenção de três classes de  
25 agregados (macroagregados: 2000–250 µm; microagregados: 250–53 µm; e silte+argila:  
26 <53 µm). As duas primeiras frações foram sonificadas para quantificação do C e N  
27 ocluso. Não foram observadas diferenças entre os sistemas quanto ao estoque de C  
28 ocluso; e os estoques de N ocluso evidenciaram diferenças entre os sistemas de café; os  
29 macroagregados constituem o compartimento com maior capacidade de armazenamento  
30 de C e N ocluso, com maior representatividade na camada superficial (0-40 cm); os  
31 microagregados representa menor proporção de C e N, contribuindo com mais de 12%,  
32 sendo essa fração mais estável e menos afetada pelo manejo.

33 **Palavras-chave:** matéria orgânica do solo; classes de agregados; sonificados.  
34  
35  
36

## 37 4.1 INTRODUÇÃO

38

39 Os estoques de carbono orgânico do solo (COS) estão intimamente associados à  
40 formação de agregados, em especial, de macroagregados (Six et al., 2002; John et al.,  
41 2005), como constatado por diversos estudos (Arruda et al., 2015; Vicente et al., 2012;  
42 Oliveira et al., 2010). A proteção física do COS dentro dos agregados constitui um  
43 importante mecanismo de estabilização de carbono orgânico no solo (Six et al., 2002).  
44 Além de favorecer o sequestro de carbono, a presença de agregados influencia a  
45 estrutura do solo, melhorando a aeração, retenção de umidade e atividade biológica  
46 (Urquiaga et al., 2006), e atenuando a erosão.

47 A agregação é resultado da ligação entre a matéria orgânica do solo (MOS) e as  
48 partículas primárias do solo (argila, silte, areia) (Kemper e Rosenau, 1986). Essa ligação  
49 é determinada pela presença de coloides, agentes cimentantes e ação microbiana do solo  
50 (Tisdall e Oades, 1982), dando origem à formação de estruturas de diferentes formas e  
51 tamanhos. Isso tem implicações no sequestro de C no solo, uma vez que, de acordo com  
52 sua localização física, o COS pode apresentar diferentes velocidades de decomposição  
53 (Freixo et al., 2002).

54 O COS pode ser estratificado por meio de diferentes tipos de fracionamento,  
55 químicos ou físicos (Monroe et al., 2021). O fracionamento em classes de agregados de  
56 diferentes tamanhos é um método físico comumente empregado em estudos que  
57 propõem avaliar mudanças na dinâmica do carbono no solo (Gama-Rodrigues et al.,  
58 2010; Saha et al., 2010; Li et al., 2019; Vicente et al., 2019; Salgado et al., 2019; Gao et  
59 al., 2019; Monroe et al., 2022). Por meio desse método, o solo é dividido em duas  
60 classes de tamanho: macroagregados (2000–250 µm) e microagregados (250–53 µm).

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

69 O processo de agregação e estabilização de C no solo é dinâmico, sendo afetado  
70 por diversos fatores, como o aporte de resíduos vegetais (Wendling et al., 2005) e as

71 práticas de manejo adotadas. Diversos estudos evidenciam a influência positiva de  
72 sistemas diversificados de produção na oclusão de C em agregados do solo, em  
73 diferentes regiões do Brasil (Gama-Rodrigues et al., 2010; Saha et al., 2010; Li et al.,  
74 2019; Vicente et al., 2019; Salgado et al., 2019; Gao et al., 2019). Apesar disso, poucos  
75 estudos incluem a avaliação do nitrogênio ocluso nos agregados (Oliveira et al., 2019;  
76 Monroe et al., 2022) e, até o presente, não existem registros de estudos sobre o tema em  
77 sistemas produtivos de café.

78 Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar mudanças na distribuição  
79 dos agregados do solo e nos estoques de carbono e nitrogênio ocluso no interior dos  
80 agregados do solo em diferentes sistemas de cultivo de café. Diante disso, assumiu-se a  
81 hipótese de que a agregação do solo e oclusão de carbono e nitrogênio em agregados é  
82 maior em sistemas diversificados de café, a exemplo do sistema agroflorestal e  
83 consórcio, como resultado de um maior aporte e diversidade de resíduos vegetais.

## 84 **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 85 **4.2.1 Caracterização da área de estudo**

86

87 O presente estudo foi conduzido no distrito de Lucaia, município de Planalto,  
88 microrregião Sudoeste do estado da Bahia. A região apresenta clima tropical de altitude,  
89 do tipo Cwb, segundo classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), com altitude  
90 média de 943 metros, temperatura média anual de 19,2 °C e pluviosidade média anual  
91 de 750 mm (com estação seca de maio a setembro).

92 Foram avaliados três sistemas produtivos de café e uma área de vegetação  
93 natural: (1) SAF – sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta*  
94 (14°74'99'' S, 40°54'16'' O e 907 m de altitude), com espaçamento 3,5 x 15,0 m (entre  
95 árvores) e 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros), idade de 21 anos e área de aproximadamente de  
96 1 ha; (2) CCB – *Coffea arabica* consorciado com banana (14°75' 07'' S, 40°52'16'' O e  
97 970 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 4,0 m (entre cafeeiros) e 1,0 x 16,0 m (entre  
98 bananeiras), idade de 21 anos (incluindo uma poda drástica do café aos oito anos de  
99 idade) e área de aproximadamente 5,3 ha; (3) CM – *Coffea arabica* em monocultivo  
100 (14°75'29'' S, 40°54'32'' O e 905 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 2,5 m, 19  
101 anos de idade (incluindo duas podas drásticas) e área de aproximadamente 6 ha; e (4)  
102 FN – floresta nativa com cerca de 30 anos sem interferência (14°44'58'' S, 40°31'14''  
103 O e 972 m de altitude), que foi utilizada como referência e está localizada em área

104 adjacente aos sistemas de café. A FN foi utilizada como referência por representar a  
105 condição original (antes da implantação dos sistemas de cultivo) (Figura 1).

106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129



130 **Figura 1.** Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevílea; 2 –  
131 consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; e 4 – floresta nativa) no município de  
132 Planalto, Bahia, Brasil.

133  
134  
135  
136  
137

O fragmento de floresta nativa tem vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual e área de cerca de 30 hectares. Trata-se de uma floresta com estrato arbóreo relativamente baixo (entre 10 e 15 m de altura), com predominância de ecótipos dos gêneros *Parapiptadenia* e *Anadenanthera* (IBGE, 2012) e estágio

138 intermediário de regeneração, segundo critérios descritos na Resolução CONAMA nº  
139 01/1994 (BRASIL, 1994), pois não é submetida a nenhuma intervenção há mais de 20  
140 anos.

141 O SAF foi estabelecido a partir da roçagem e abertura de sulcos, e adubação de  
142 plantio (20 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples) e orgânica de cobertura (12 kg de esterco  
143 bovino). Nos sistemas CCB e CM, adotou-se preparo do solo com aração, gradagem e  
144 abertura de sulcos, adubação de plantio (superfosfato simples: 150 g e 120 g por planta,  
145 respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g e NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por  
146 planta). Em todos os sistemas, os tratos culturais foram realizados duas vezes ao ano,  
147 com roçagem para controle de ervas espontâneas.

148 O solo dos sistemas estudados pertence à classe de Latossolo Amarelo Distrófico  
149 (Santos et al., 2018).

150

#### 151 **4.2.2 Coleta e preparo das amostras de solo**

152

153 As coletas de solo foram realizadas em março de 2020. Em cada sistema, foram  
154 demarcadas quatro parcelas, cada uma com área de 0,04 ha (20 x 20m), respeitando uma  
155 distância mínima de 20 m entre parcelas. Em cada parcela, foi aberta uma trincheira (1 x  
156 1x 1,5 m) entre as linhas cultivo, onde foram retiradas amostras deformadas de solo em  
157 seis profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), totalizando 24  
158 amostras por sistema. Em cada profundidade, foram retiradas quatro amostras simples  
159 (uma de cada parede da trincheira) que foram reunidas formando uma composta. As  
160 amostras foram acondicionadas sem amontoar, a fim de evitar a compressão e  
161 minimizar o rompimento dos agregados do solo durante o transporte. Além das  
162 amostras deformadas, foram coletadas amostras indeformadas nas mesmas  
163 profundidades com uso de anel volumétrico.

164 As amostras de solo de cada profundidade foram secas ao ar e passadas em  
165 peneira de 2 mm (Terra fina seca ao ar – TFSA) e analisadas para caracterização  
166 química (pH em água; P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1  
167 mol L<sup>-1</sup>) e granulométrica pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2017) (Tabela 1 e 2,  
168 respectivamente). As amostras indeformadas foram utilizadas para determinação da  
169 densidade do solo, que consistiu em secar as amostras de solo (105 °C) até peso  
170 constante, para obtenção da massa seca, e relacionar com o volume conhecido do anel  
171 volumétrico.

172 **Tabela 1.** Caracterização química e densidade solo até um metro de profundidade em  
 173 três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café +  
 174 banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea) e FN (Floresta Nativa), no  
 175 município de Planalto, Bahia, Brasil

Sistemas	Prof. (cm)	pH <sup>(1)</sup>	P mg gm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	DS g dm <sup>3</sup>
					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
CM	0-10	6,3	21	0,49	3,4	1,9	0,0	1,54
CCB		6,1	10	0,50	4,5	1,9	0,0	1,46
SAF		5,8	13	0,44	3,5	1,7	0,1	1,21
FN		4,8	3	0,17	1,9	1,0	0,8	1,26
CM	10-20	5,9	2	0,26	2,0	1,5	0,0	1,59
CCB		5,5	3	0,37	2,6	1,1	0,2	1,54
SAF		5,1	3	0,26	1,1	0,8	0,4	1,46
FN		4,7	2	0,13	0,7	0,6	1,1	1,42
CM	20-40	4,9	1	0,13	0,9	0,7	0,5	1,70
CCB		4,8	1	0,21	0,9	0,5	1,0	1,30
SAF		4,8	2	0,18	0,6	0,4	0,8	1,47
FN		4,7	1	0,09	0,5	0,4	1,4	1,32
CM	40-60	4,8	1	0,09	0,7	0,5	0,6	1,47
CCB		4,8	1	0,19	0,7	0,6	1,1	1,27
SAF		4,6	1	0,15	0,4	0,2	1,0	1,30
FN		4,7	1	0,05	0,4	0,4	1,8	1,26
CM	60-80	4,9	1	0,08	0,7	0,5	0,6	1,34
CCB		4,7	1	0,10	0,8	0,6	1,0	1,43
SAF		4,6	1	0,13	0,4	0,2	1,0	1,30
FN		4,6	1	0,04	0,4	0,4	1,8	1,39
CM	80-100	4,8	1	0,05	0,6	0,7	0,6	1,43
CCB		4,6	1	0,10	0,6	0,5	1,2	1,51
SAF		4,5	1	0,18	0,4	0,2	1,0	1,34
FN		4,6	1	0,03	0,3	0,3	1,4	1,37

176 <sup>(1)</sup> Análises realizadas de acordo com EMBRAPA (2017): pH (água); P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al  
 177 trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. DS – densidade do solo obtida pelo método do anel volumétrico, também nas mesmas  
 178 parcelas, que consistiu na pesagem das amostras de solo coletadas em anel de volume conhecido (105,72 cm<sup>3</sup>), após  
 179 secagem em estufa a 105 °C por 48 h.

180

181 **Tabela 2.** Composição granulométrica do solo até um metro de profundidade em três  
 182 sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café +  
 183 banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN (Floresta Nativa) no  
 184 município de Planalto, Bahia, Brasil  
 185

Comp. Granulométrica TFSA g/Kg						
Sistemas	Prof. do solo (cm)	Areia grossa (mm)	Areia fina (mm)	Silte (mm)	Argila (mm)	Classe Textural
CM	0-10	340	260	120	280	Franco Argilo Arenosa
CCB		310	310	90	290	Franco Argilo Arenosa
SAF		280	285	115	320	Franco Argilo Arenosa
FN		340	310	70	280	Franco Argilo Arenosa
CM	10-20	305	275	60	360	Argila Arenosa
CCB		295	305	70	330	Franco Argilo Arenosa
SAF		255	300	75	370	Argila Arenosa
FN		335	315	60	290	Franco Argilo Arenosa
CM	20-40	205	325	40	430	Argila Arenosa
CCB		250	295	75	380	Argila Arenosa
SAF		230	290	80	400	Argila Arenosa
FN		300	300	70	330	Franco Argilo Arenosa
CM	40-60	225	265	60	450	Argila Arenosa
CCB		200	270	70	460	Argila Arenosa
SAF		200	280	60	460	Argila Arenosa
FN		240	290	70	400	Argila Arenosa
CM	60-80	215	255	50	480	Argila Arenosa
CCB		185	235	70	510	Argila
SAF		180	270	70	480	Argila Arenosa
FN		220	300	40	450	Argila Arenosa
CM	80-100	210	260	70	460	Argila Arenosa
CCB		180	240	320	260	Franca
SAF		185	260	55	500	Argila
FN		220	290	40	450	Argila Arenosa

### 186 **4.2.3 Fracionamento em classes de agregados**

187

188 O fracionamento em classes de agregados foi realizado de acordo com o  
189 procedimento descrito por Elliot (1986 adaptado por Gama-Rodrigues et al., 2010;  
190 Vicente et al., 2016; Monroe et al., 2021). O fracionamento consistiu na pesagem de 50  
191 g de solo seco ao ar, passado por peneira de 2000 µm e submerso em um béquer de 250  
192 ml com água destilada. Após 5 minutos, as amostras foram passadas por uma peneira de  
193 250 µm, em movimentos repetitivos de cima para baixo (deslocamento de  
194 aproximadamente 3 cm), durante quatro minutos. A fração restante no topo da peneira  
195 de 250 µm foi coletada em recipiente plástico de aproximadamente 400 ml. A fração  
196 que passou pela peneira (<250 µm) foi, então, passada por outra de 53 µm, que se  
197 separou em duas novas frações, utilizando o mesmo procedimento de peneiramento  
198 anterior. Assim, duas classes de agregados foram obtidas: MA - macroagregados (2000–  
199 250 µm) e MI - microagregados (250–53 µm). Além disso, foi obtida a fração silte +  
200 argila (<53 µm). Todas as frações foram secas em estufa de ar forçado a 60°C, por 72 h.  
201 Após isso, foram pesadas em balança analítica de precisão (0,0001 g), calculando-se a  
202 porcentagem do peso de cada fração. A eficiência de recuperação da massa de  
203 agregados, obtida pela soma das massas das três frações (MA, MI e silte+argila), em  
204 função da massa das amostras de solo antes do peneiramento, foi sempre superior a  
205 95%.

206 O diâmetro médio ponderado (DMP) foi usado para indicar a estabilidade do  
207 agregado e foi calculado conforme equação 1.

$$208 \quad \text{DMP} = \sum_{i=1}^n D_i \times P_i \quad (1)$$

209 Em que:

210  $D_i$  = o diâmetro médio da fração agregada  $i$  e;

211  $P_i$  = proporção de cada classe de agregados em relação ao total.

212

### 213 **4.2.4 Correção de areia dos agregados**

214

215 O procedimento de correção da areia consistiu na pesagem de 2 g de amostra  
216 agregada (frações macro e micro) que foram combinadas individualmente com 2 ml de  
217 hidróxido de sódio e 20 ml de água deionizada. A suspensão foi agitada por 16 h em  
218 uma mesa com agitação orbital. Após agitação, as amostras foram passadas por peneiras



219 (250 µm e 53 µm para macroagregado e apenas 53 µm para microagregado). Todas as  
220 frações obtidas foram secas em estufa a 60 °C e pesadas. As massas foram usadas para a  
221 correção da areia, de acordo com a equação 2 (Vicente et al., 2019):

222

223 Agregado livre de areia:

$$224 \quad \text{ALA (g)} = \text{MFA} * [1 - \text{PAFA}] \quad (2)$$

225 Em que:

226 ALA = massa da fração agregada livre de areia (em g);

227 MFA = massa total da fração de agregada obtido no fracionamento físico (em g);

228 PAFA = proporção de areia da fração agregada (massa da areia em amostra de 2g da  
229 fração agregada).

230

#### 231 **4.2.5 Sonificação das classes dos agregados**

232

233 O procedimento consistiu em pesar 5 g da fração de maior diâmetro (2000–250  
234 µm) e 3 g da fração de menor diâmetro (250–53 µm), que foram, então, submersas em  
235 50 ml de água deionizada em um becker de 150 ml. As amostras foram sonificadas  
236 usando a energia aplicada (EA) de 400 Watts, 24 kHz, obtida na calibração da  
237 sonificação e usando uma amplitude de 100% por 1 min e 40 s, com um modelo UP400S  
238 *Ultrasonic Processor (Hielscher, Ultrasound Technology)*. Durante a sonificação, a  
239 sonda foi inserida a uma profundidade de 10 mm. A temperatura da solução (água+solo)  
240 foi monitorada e mantida abaixo de 25°C, não havendo necessidade da utilização de  
241 bolsas de gelo, pois o tempo de sonificação não foi suficiente para aquecer a solução  
242 acima dessa temperatura.

243 As amostras sonificadas foram passadas pelas mesmas peneiras em que as  
244 frações foram obtidas (por exemplo, peneira de 250 µm para macroagregados e 53 µm  
245 para microagregados). Assim, a fração seca, que passou pela peneira após a sonificação  
246 de ambas as frações de agregados, foi denominada de massa da fração oclusa do  
247 agregado (MFO) (Sarkhot et al., 2008; Gama-Rodrigues et al., 2010), enquanto a que  
248 ficou retida na peneira foi denominada de massa da fração particulada do agregado  
249 (MFP). A partir dos dados obtidos, foi calculada a razão MFP/MFO, que expressa a  
250 proporção da fração particulada em relação à fração oclusa dos agregados.

251

#### 252 **4.2.6 Carbono orgânico e nitrogênio ocluso**

253

254 As concentrações de C e N ocluso nas frações macroagregados (CO<sub>MA</sub> e NO<sub>MA</sub>)  
255 e microagregados (CO<sub>MI</sub> e NO<sub>MI</sub>) foram determinadas por combustão seca em um  
256 sistema analisador elementar automatizado Perkin-Elmer Series II 2400 CHNS/O  
257 Analyzer, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão. O carbono ocluso estocado nos macro  
258 e microagregados foi calculado usando-se a equação 3:

$$259 \quad EO = \frac{(E * (MFM)^2 * MFOM * D_s * ECS)}{(10.000 * PIFS)} \quad (3)$$

260 Em que:

261 EO = estoque do elemento (C ou N) ocluso em macro e microagregados (Mg ha<sup>-1</sup>);

262 E = teor do elemento (C ou N) ocluso no macro ou microagregados (g 100g<sup>-1</sup>);

263 MFM = massa da fração de macro ou microagregados antes da sonificação (g);

264 MFOM = massa da fração oclusa em macro ou microagregados (g);

265 D<sub>s</sub> = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);

266 ECS = espessura da camada do solo (cm)

267 PIFS = peso inicial da fração para sonificação (5 g para macro e 3 g para  
268 microagregados).

269 Para melhor interpretação dos resultados obtidos, os estoques de carbono e de  
270 nitrogênio ocluso nos macroagregados e microagregados foram avaliados  
271 separadamente (CO<sub>MA</sub> e CO<sub>MI</sub>) e (NO<sub>MA</sub> e NO<sub>MI</sub>) e também associados (CO<sub>MA</sub>+CO<sub>MI</sub>) e  
272 (NO<sub>MA</sub>+NO<sub>MI</sub>).

273

#### 274 **4.2.7 Carbono orgânico e nitrogênio total do solo**

275

276 Os estoques de carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total do solo (NT)  
277 utilizados neste estudo foram extraídos do primeiro artigo desta tese (artigo 1), o qual  
278 foi desenvolvido nas mesmas áreas e de forma concomitante ao presente estudo.

279

#### 280 **4.2.8 Análise Estatística**

281

282 Os dados foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias dos erros  
283 (teste de Cochran, 5% de significância) e normalidade (teste de Lilliefors, 5 % de

284 significância). Após constatar dados paramétricos, estes foram submetidos à análise de  
285 variância (ANOVA), segundo um delineamento inteiramente casualizado, com quatro  
286 repetições. Quando a ANOVA mostrou resultado significativo no teste F ( $p < 5\%$ ),  
287 foram realizadas comparações múltiplas das médias dos tratamentos pelo teste de LSD –  
288 *Least Significant Difference* a 5% de significância. As análises estatísticas foram  
289 realizadas por meio dos programas Statistica® v.10.0. Já o *software* Sigmaplot® v.11.0  
290 foi utilizado na construção dos gráficos.

291

## 292 **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 293 **4.3.1 Distribuição das classes de agregados**

294

295 Em todos os sistemas e profundidades, houve predominância dos  
296 macroagregados (média de 77,71%) em relação aos microagregados (média de 16,49 %) e  
297 fração silte + argila (média de 5,80 %) (Tabela 3). De modo geral, os estudos indicam  
298 maior proporção de macroagregados nas camadas superficiais, com redução à medida  
299 que se aumenta a profundidade (Gryze et al., 2008; Salton et al., 2008; Anders et al.,  
300 2010), uma vez que a presença de macroagregados está intimamente associada às  
301 entradas de resíduos orgânicos. A uniformidade da presença de macroagregados, no  
302 perfil do solo observada no presente estudo, pode ser explicada pela ausência de  
303 movimentação do solo e constante adição de resíduos vegetais em todos os sistemas  
304 estudados. Isso estaria favorecendo o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) e,  
305 como consequência, a agregação do solo. Segundo Tisdall e Oades (1982), Oades  
306 (1984) e Six et al. (2004), a MOS é um dos principais agentes de formação dos  
307 macroagregados e, quando somada à ausência de revolvimento do solo, favorece a  
308 formação e estabilização dos macroagregados. Além disso, a deposição contínua de  
309 resíduos vegetais proporciona o fornecimento de compostos orgânicos transitórios  
310 (polissacarídeos e produtos microbianos) e temporários (raízes e hifas de fungos) que  
311 são os principais responsáveis pela estabilização de agregados (Tisdall e Oades, 1982;  
312 Bayer e Mielnickzuk, 1997).

313

314

315

316

317 **Tabela 3.** Distribuição das classes de agregados do solo até um metro de profundidade  
 318 em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café  
 319 + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevilea) e FN – floresta nativa, no  
 320 município de Planalto, Bahia, Brasil  
 321

Profundidade (cm)	Fração (µm)	Massa das frações (%)			
		CM	CCB	SAF	FN
0-10	2000-250	41,58a	39,60a	41,28a	41,02a
	250-53	5,60a	7,42a	5,77a	5,88a
	>53	1,84ab	2,41a	1,40b	1,25b
10-20	2000-250	40,18a	40,67a	42,05a	39,75a
	250-53	7,26a	6,46a	5,13a	7,87a
	>53	1,83a	2,11a	1,80a	1,61a
20-40	2000-250	38,63a	40,29a	40,07a	39,18a
	250-53	7,98a	6,55a	6,46a	8,09a
	>53	2,73a	2,31ab	1,90ab	1,79b
40-60	2000-250	35,98a	37,71a	38,85a	38,21a
	250-53	9,52a	8,12a	6,79a	8,13a
	>53	3,50a	2,97ab	3,01ab	2,31b
60-80	2000-250	33,04a	38,29a	35,68a	30,62a
	250-53	11,58ab	7,06b	9,18ab	14,93a
	>53	4,53a	3,81a	4,27a	3,37a
80-100	2000-250	31,27b	37,69a	36,00ab	35,69ab
	250-53	12,73a	7,30b	8,62ab	9,54ab
	>53	4,85a	4,28a	4,46a	3,98a

322 \* Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste LSD a 5% de significância.

323

324 De maneira geral, não houve grande variação entre sistemas quanto à quantidade  
 325 de agregados. Os macroagregados diferiram entre sistemas apenas na profundidade 80-  
 326 100 cm, com menor resultado no CM em relação ao CCB, embora sem variação em  
 327 relação aos outros sistemas. Por sua vez, os microagregados evidenciaram diferenças  
 328 apenas nas profundidades 60-80 e 80-100 cm, com menores valores no CCB, que  
 329 diferiu somente da FN na camada 60-80 cm e do CM na camada 80-100 cm. Além

330 disso, foi possível notar um aumento progressivo dos microagregados no sistema CM  
331 com o aumento da profundidade. Esse aumento é comumente observado em estudos de  
332 agregação do solo e deve estar relacionado à composição mais simples do sistema e à  
333 redução das entradas de resíduos e dos teores de matéria orgânica em profundidade,  
334 inibindo o processo de formação de macroagregados (Wohlenberg et al., 2004), uma  
335 vez que o material vegetal serve como alimento para microrganismos que funcionam  
336 como agentes cimentantes permanentes e temporários (Loss et al., 2015).

337 Embora sem um padrão nítido de variação, a fração silte+argila mostrou  
338 diferenças entre os sistemas até 60 cm de profundidade. Na camada 0-10 cm, o CCB  
339 apresentou o valor mais alto da fração silte+argila em relação à FN e SAF. Já nas  
340 camadas 20-40 e 40-60 cm, foi o CM que apresentou valor mais alto desta fração em  
341 comparação com a FN.

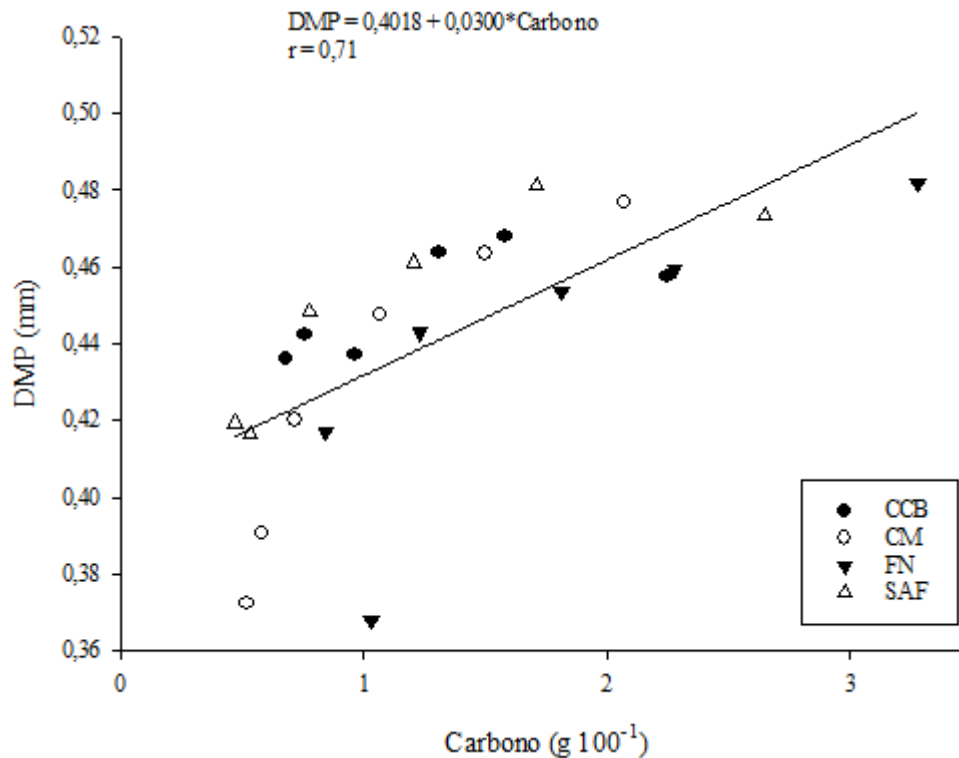
342 A estabilidade do agregado (diâmetro médio ponderado – DMP) mostrou uma  
343 forte correlação linear positiva com o COS ( $r^2 = 0,71$ ,  $p < 0,05$ ) em todos os sistemas  
344 estudados (Figura 2). Isso é um indicativo do importante papel desempenhado pela  
345 matéria orgânica do solo na formação de agregados e na sua consequente estabilidade,  
346 corroborando os resultados de outros estudos, como o de Monroe et al. (2022), que  
347 avaliaram sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia e encontraram correlação  
348 positiva entre esses mesmos indicadores ( $r^2 = 0,75$ ;  $p < 0,05$ ).

349

350

351

352



353

354 **Figura 2.** Diâmetro médio ponderado (DMP) em relação ao carbono orgânico do solo  
 355 (COS) em três sistemas produtivos de café (CCB – consórcio de café + banana; CM –  
 356 café monocultivo; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea) e FN (Floresta Nativa),  
 357 no município de Planalto, Bahia, Brasil.

358

#### 359 4.3.2 Carbono e nitrogênio protegidos fisicamente em agregados do solo

360

361 Em geral, não houve variação entre os sistemas em relação à quantidade de C  
 362 ocluso nos macroagregados, observando-se diferenças apenas na profundidade 80-100  
 363 cm, que mostrou resultado superior no sistema CCB em relação aos sistemas CM e  
 364 SAF, não diferindo da FN (Tabela 4). Em todos os sistemas, a contribuição dos  
 365 macroagregados, no C ocluso acumulado ao longo do perfil, foi maior do que a dos  
 366 microagregados. Essa participação representou mais de 80% do C ocluso em todos os  
 367 sistemas do estudo, sugerindo que a macroagregação é o principal mecanismo de  
 368 estabilização do C em todos esses sistemas. Isso demonstra a relevante importância dos  
 369 agregados de maior tamanho na proteção física e permanência do carbono no solo, tanto  
 370 em sistemas cultivados quanto em sistemas nativos. A constante adição de material  
 371 vegetal, seja pela entrada de serapilheira ou pela ciclagem e exsudação das raízes,

372 favorece a formação dos macroagregados do solo (Montagnini e Nair, 2004; Zinn et al.,  
373 2005).

374

375 **Tabela 4.** Carbono ocluso (CO), nitrogênio ocluso (NO), relação massa da fração  
376 particulada/massa da fração oclusa dos macroagregados (MFP/MFO<sub>MA</sub>) e dos  
377 microagregados (MFP/MFO<sub>MI</sub>) em agregados do solo até um metro de profundidade,  
378 em três sistemas produtivos de café (CM – café monocultivo; CCB – consórcio de café  
379 + banana; SAF – sistema agroflorestal café + grevílea) e FN – floresta nativa

Sistemas	Prof. (cm)	CO <sub>MA</sub>	CO <sub>MI</sub>	NO <sub>MA</sub>	NO <sub>MI</sub>	MFP/MFO <sub>MA</sub>	MFP/MFO <sub>MI</sub>
		(Mg ha <sup>-1</sup> )					
CM	0-10	3,20 a	0,067ab	0,28a	0,0057ab	0,80	3,18
CCB		3,09 a	0,130a	0,26a	0,0107a	0,68	3,67
SAF		3,29 a	0,060ab	0,25a	0,0047ab	0,85	2,62
FN		2,78 a	0,043b	0,27a	0,0033b	1,75	4,27
CM	10-20	1,98 a	0,075 a	0,166 a	0,0059 a	1,17	2,32
CCB		2,53 a	0,103 a	0,193 a	0,0074 a	0,68	3,07
SAF		2,60 a	0,047 a	0,192 a	0,0035 a	0,78	2,27
FN		2,39 a	0,096 a	0,275 a	0,0072 a	1,21	3,14
CM	20-40	3,12 a	0,141 a	0,257 a	0,0113 a	0,60	2,72
CCB		3,39 a	0,103 a	0,262 a	0,0072 a	0,66	3,13
SAF		3,50 a	0,143 a	0,251 a	0,0108 a	0,77	2,42
FN		3,39 a	0,135 a	0,281 a	0,0102 a	1,23	2,60
CM	40-60	1,80 a	0,126 a	0,155bc	0,0099 a	0,54	1,89
CCB		2,32 a	0,137 a	0,185ab	0,0091 a	0,54	1,90
SAF		1,82 a	0,075 a	0,138c	0,0061 a	0,81	1,56
FN		2,30 a	0,121 a	0,221 a	0,0089 a	1,02	1,92
CM	60-80	1,09 a	0,152ab	0,096 a	0,0116ab	0,62	1,37
CCB		2,26 a	0,088b	0,175 a	0,0059b	0,49	1,66
SAF		1,15 a	0,084b	0,087 a	0,0069b	0,66	1,19
FN		1,64 a	0,368 a	0,155 a	0,0249 a	1,36	1,87
CM	80-100	0,84b	0,163 a	0,080b	0,0126 a	0,86	1,32
CCB		2,01 a	0,090 a	0,166 a	0,0063 a	0,49	1,45
SAF		1,00b	0,079 a	0,077b	0,0063 a	0,72	0,94
FN		1,65 a	0,121 a	0,169 a	0,0087 a	0,86	1,66

380 \* Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste LSD a 5% de significância.

381

382           Nesse sentido, os sistemas de cultivo de café, mesmo quando em monocultivo,  
383 podem estar contribuindo para o acúmulo e permanência de carbono no solo, uma vez  
384 que o café é uma espécie perene que permite o aporte contínuo de resíduos vegetais  
385 (serapilheira e raízes). De acordo com o modelo conceitual de Six et al. (2000), a partir  
386 das premissas postuladas por Oades (1984), a deposição de material vegetal via  
387 serapilheira induz a formação de macroagregados por ser uma fonte de C, o que  
388 promove a atividade microbiana, cujos compostos produzidos funcionam como agentes  
389 ligantes.

390           A maior participação dos macroagregados no C ocluso também foi constatada  
391 em outros estudos, como os de Gama-Rodrigues et al. (2010) e Vicente et al. (2019),  
392 que observaram maior estoque de C ocluso nessa fração até 100 cm de profundidade do  
393 solo em sistemas agroflorestais de cacau, atribuindo esse resultado à adição constante de  
394 matéria orgânica via serapilheira e raízes.

395           Embora os macroagregados sejam considerados mais predispostos a sofrer com  
396 perturbações do que os microagregados, as baixas interferências no solo, comuns a  
397 sistemas perenes de produção, fazem com que haja um turnover mais lento dos  
398 macroagregados nesses sistemas e, dessa forma, o C presente nessa fração se torna mais  
399 estabilizado ao longo do tempo. Ou seja, os resultados observados no presente estudo  
400 podem ser explicados pela ausência de preparo e revolvimento do solo por implementos  
401 agrícolas que contribui para a não degradação dos agentes ligantes, favorecendo a  
402 manutenção e estabilização dessa fração no solo (Tisdall e Oades, 1982; Corazza et al.,  
403 1999; Gama-Rodrigues et al., 2010).

404           Em todos os sistemas, mais de 57% do estoque total de C ocluso dos  
405 macroagregados esteve presente na camada superficial do solo, até 40 cm (SAF =  
406 70,3%, CM = 69,1 %, FN = 60,5 % e CCB = 57,7 %). Salgado et al. (2019), estudando  
407 sistemas agroflorestais de seringueira, floresta secundária e pastagem, na Bahia,  
408 também observaram maior estoque de  $CO_{MA}$  nos primeiros 40 cm de profundidade.  
409 Essa maior quantidade de C ocluso nos macroagregados em superfície tem relação com  
410 o aporte contínuo de resíduos na superfície do solo pelos sistemas através da  
411 senescência da biomassa aérea e turnover radicular (Bayer e Mielnicczuk, 1997). Além  
412 disso, a maior quantidade de raízes finas na superfície e, junto a isso, a liberação de  
413 exsudatos contribuem para maior estabilização dos agregados e acúmulo de C nas  
414 camadas superficiais do solo, especialmente em sistemas agrícolas sob manejo  
415 conservacionista. Isso evita o rompimento dos macroagregados, a liberação dos



416 microagregados do seu interior e a disponibilização da matéria orgânica protegida  
417 (Chimento e Amaducci, 2015; Rasse et al., 2005).

418 A quantidade de N ocluso nos macroagregados também diminuiu a partir dos 40  
419 cm de profundidade, assim como o de C ocluso. É provável que esse resultado esteja  
420 relacionado às entradas de resíduos orgânicos e seu tempo de decomposição, visto que a  
421 dinâmica de nitrogênio está intimamente relacionada com a dinâmica de carbono  
422 orgânico do solo (Ribeiro et al., 2011).

423 Nos microagregados, o C e o N ocluso apresentaram diferenças entre sistemas  
424 apenas nas camadas 0-10 e 60-80 cm. Apesar disso, as diferenças foram detectadas  
425 apenas em relação à FN, não havendo variação entre os sistemas de café. Assim, em  
426 relação à FN, o CCB apresentou maior resultado na camada 0-10 cm, enquanto CCB e  
427 SAF tiveram menor resultado na profundidade 60-80 cm (Tabela 4).

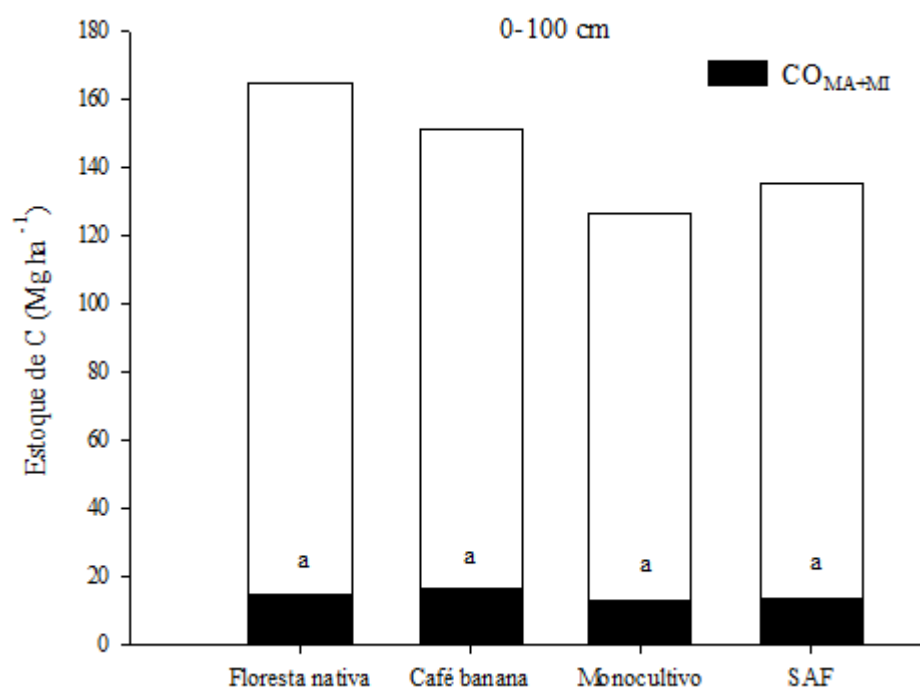
428 Ainda em relação à quantidade de C ocluso nos microagregados, observou-se, de  
429 modo geral, uma tendência de ampliação com o aumento da profundidade e ligeira  
430 diminuição aos 100 cm. Adicionalmente, verificou-se que o teor de argila apresentou  
431 esse mesmo padrão de distribuição no perfil do solo (Tabela 1), o que demonstra que a  
432 presença de óxidos estaria promovendo a formação de complexos organominerais que  
433 possuem elevada energia de ligação, fundamental para a formação e estabilização dos  
434 microagregados (Inda Junior et al., 2007; Oades et al., 1989).

435 Os microagregados são formados por agentes ligantes persistentes dentro dos  
436 macroagregados, após a decomposição de resíduos vegetais frescos. Assim, a matéria  
437 orgânica particulada, dentro dos macroagregados, é lentamente adsorvida às partículas  
438 finas do solo formando microagregados estáveis (Six et al., 2000). Por essa razão, os  
439 microagregados são menos afetados pelo manejo do solo.

440 A relação  $MFP/MFO_{MA}$  e  $MFP/MFO_{MI}$ , até um metro de profundidade, mostrou  
441 maiores resultados na FN, indicando que esse ambiente proporcionou maior proporção  
442 de fração particulada em relação à fração oclusa. A fração particulada é composta por  
443 hifas de fungos, raízes e resíduos animais e vegetais, constituindo a fração lábil da  
444 matéria orgânica, que é muito sensível às mudanças decorrentes das práticas de manejo  
445 do solo (Blair et al., 1998). Alterações na massa e teores de C da fração particulada, em  
446 decorrência do uso do solo, podem causar modificações na estabilidade dos  
447 macroagregados e se refletir em redução da resistência do solo às pressões externas  
448 (Blair, 2000).

449 Dentre os sistemas de café, o CCB apresentou os menores valores na relação  
450 MFP/MFO, indicando que esse sistema seria mais favorável à oclusão de matéria  
451 orgânica em macro e microagregados. A fração oclusa é a mais estável da matéria  
452 orgânica do solo, com forte interação com as frações silte e argila, exercendo papel  
453 significativo na estabilização dos macro e microagregados (Cambardella e Elliott,  
454 1992).

455 Não foram observadas diferenças entre sistemas quanto ao estoque total de C  
456 ocluso (macroagregados + microagregados =  $CO_{MA+MI}$ ) a um metro de profundidade  
457 (Figura 3). Apesar disso, observou-se que o CCB foi o sistema que mais se aproximou  
458 da floresta nativa, no acúmulo C ocluso (CCB =  $16,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; FN =  $15,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ ),  
459 representando 10,85 % e 10,02 % do estoque de carbono total, respectivamente. Os  
460 outros dois sistemas apresentaram estoques totais de CO de  $13,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  (SAF) e  $12,7$   
461  $\text{Mg ha}^{-1}$  (CM), representando cerca de 9,24 % e 8,50 % do estoque de carbono total,  
462 nesta ordem.

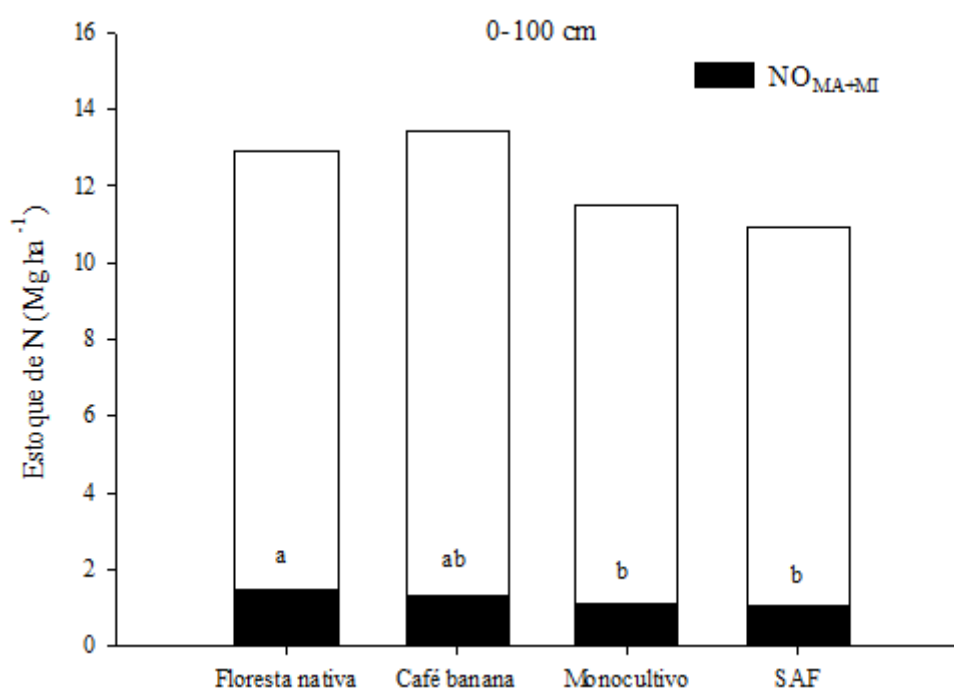


463

464 **Figura 3.** Participação do C ocluso dos macroagregados + microagregados ( $CO_{MA+MI}$ )  
465 no carbono orgânico do solo até um m de profundidade sob três sistemas produtivos de  
466 café (CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema  
467 agroflorestal café + grevílea) e FN – floresta nativa.

468

469 Ao contrário dos estoques de  $CO_{MA+MI}$ , os estoques totais de N ocluído nos  
 470 macroagregados + microagregados ( $NO_{MA+MI}$ ), a um metro de profundidade,  
 471 evidenciaram diferenças entre sistemas, com maior resultado na FN e CCB, embora este  
 472 último sistema não tenha se diferenciado do CM e SAF (Figura 4). Os maiores  
 473 resultados de oclusão do N na FN reforçam que o ambiente mais estável e sem  
 474 perturbação antrópica, que representa a condição original do solo, com constante aporte  
 475 de resíduos vegetais, propicia um equilíbrio entre as adições e perdas de C e N. Devido  
 476 a estas características, os agregados de florestas nativas apresentam grande quantidade  
 477 de detritos vegetais, raízes e hifas em decomposição, principalmente os macroagregados  
 478 (Tisdall e Oades, 1982).  
 479



480  
 481 **Figura 4.** Participação do N ocluído dos macroagregados + microagregados ( $NO_{MA+MI}$ )  
 482 no nitrogênio total do solo (NT) até um m de profundidade sob três sistemas produtivos  
 483 de café (CCB – consórcio de café + banana; CM – café monocultivo; SAF – sistema  
 484 agroflorestal café + grevílea) e FN – floresta nativa.

485  
 486 Por sua vez, a menor oclusão de N, nos sistemas SAF e CM em relação à FN,  
 487 pode ser atribuída a diferenças nas entradas de materiais orgânicos desses sistemas. No  
 488 caso particular do SAF, é provável que a adição de resíduos vegetais ricos em N pela  
 489 grevílea e, adicionalmente, a adoção de manejo de adubação orgânica (esterco bovino)

490 tenha estimulado a decomposição da MOS (pelo aumento da população de  
491 microrganismos e a atividade de enzimas envolvidas no processo), e, como  
492 consequência, a liberação de N na forma mineral e a redução da oclusão de N no solo.  
493 De acordo com Radomski e Ribaski (2012), a presença da grevilea em SAFs é  
494 responsável por uma maior incorporação de resíduos orgânicos mais ricos em nitrogênio  
495 e outros nutrientes, melhorando a fertilidade do solo. De forma semelhante, segundo  
496 Stevenson (1994), o uso de adubação orgânica também incrementa as entradas de N no  
497 solo.

498 Desse modo, a redução do N ocluído no CM pode estar associada a situações de  
499 desequilíbrio, como revolvimento mais recente em relação aos demais sistemas, menor  
500 diversidade de plantas e baixa adição de resíduos vegetais sobre o solo (Guimarães et  
501 al., 2017).

502

#### 503 **4.4 CONCLUSÕES**

504

505 Ao considerar maior oclusão do carbono e nitrogênio em solo, sob sistemas  
506 diversificados de café, a hipótese foi confirmada apenas para o consórcio de café com  
507 banana, por ser o sistema que mais se aproximou da floresta nativa, indicando que ter  
508 um maior potencial para estabilização de C e N;

509 A distribuição dos agregados do solo sofre pouca influência do sistema de  
510 cultivo de café. Em todos os sistemas, os macroagregados constituem o compartimento  
511 com maior capacidade de armazenamento de carbono e nitrogênio ocluídos, com maior  
512 representatividade na camada superficial (0-40cm), diminuindo em profundidade;

513 Embora represente menor proporção do carbono do solo, os microagregados  
514 contribuem com mais de 12 % do estoque de C e N ocluído no solo e, por constituir a  
515 fração mais estável e menos afetada pelo manejo, tem importante papel no  
516 armazenamento de C e N em solos sob sistemas de cultivo de café.

517

#### 518 **4.5 AGRADECIMENTOS**

519 À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela  
520 concessão da bolsa ao primeiro autor; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
521 Nível Superior (CAPES); e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

522

#### 523 4.6 REFERÊNCIAS

524

525 Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Golçalves, J. L. M.; Sparovek, G. (2014).  
526 Köppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6,  
527 p. 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

528

529 Anders, M. M.; Beck, P. A.; Watkins, B. K.; Gunter, S. A.; Lusby, K. S.; Hubbell, D.S.  
530 (2010). Soil aggregates and their associated carbon and nitrogen content in winter  
531 annual pastures. *Soil Water Manag. Conserv.*, v. 74, p. 1339-  
532 1347. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0280>.

533

534 Arruda, E. M.; de Almeida, R. F.; da Silva Junior, A. C.; Ribeiro, B. T. Silva, A. de A.  
535 (2015). Aggregation and organic matter content in different tillage systems for  
536 sugarcane. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, p. 281-288.  
537 <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9259>.

538

539 Bayer, C.; Mielniczuk, J. (1997). Características químicas do solo afetadas por métodos  
540 de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p.105-  
541 112. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300023>.

542

543 Blair, G. J.; Chapman, L.; Whitbread, A. M., Bal-Coelho, B., Larsen, P., Tiessen H.  
544 (1998). Soil carbon changes resulting from trash management at two locations in  
545 Queensland, Australia and in Nort-east Brazil. *Australian Journal of Soil Research*,  
546 Melbourne, v.6, n.4, p.873-882. <https://doi.org/10.1071/S98021>.

547

548 Blair, N. (2000). Impact of cultivation and sugarcane green trash management on  
549 carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia.  
550 *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.55, n.1, p.183-191.  
551 [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00113-6).

552

553 Brasil. (1994). Resolução CONAMA nº. 1, de 31 de Janeiro de 1994. Brasília: Diário  
554 Oficial da União, 1684-1685 p.

555

556 Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across  
557 a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.56,  
558 n.2, p.777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.

559

560 Chimento, C.; Amaducci, S. (2015). Characterization of fine root system and potential  
561 contribution to soil organic carbon of six perennial bioenergy crops. *Biomass and  
562 Bioenergy*, v. 83, p. 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.008>.

563

564 Corazza, E. J.; Silva, E. J.; Resck, D. V. S.; Gomes, A. C. (1999). Comportamento de  
565 diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à  
566 vegetação do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 425-432.  
567 <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200025>.

568

569 Gryze, S.; Bossuyt, H.; Six, J.; Van Meirvenne, M.; Govers, G.; Merckx, R.  
570 (2007). Factors controlling aggregation in a minimum and a conventionally tilled

571 undulating field. *European Journal of Soil Science*, v. 58, n. 5, p. 1017–  
572 1026. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00881.x>.  
573

574 Ellert, B. H., Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in  
575 soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, v.75,  
576 p.529-538. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>.  
577

578 Elliot, E.T. (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native  
579 and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.50, p.627–633.  
580 <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000030017x>.  
581

582 Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Manual de Métodos de  
583 Análise de Solo. Embrapa, Brasília, 573 p.  
584

585 Freixo, A. A.; Canellas, L. P.; Machado, P. L. O. A. (2002). Propriedades espectrais da  
586 matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e  
587 preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 445–453.  
588

589 Gama-Rodrigues, E. F.; Nair, P. K. R.; Nair, V. D.; Gama-Rodrigues, A. C.; Baligar,  
590 V., Machado, R. C. R. (2010). Carbon storage in soil size fractions under two cacao  
591 agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, v.45, p.274–283.  
592 <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9420-7>.  
593

594 Gao, L.; Wang, B.; Li, S.; Wu, H.; Wu, X.; Liang, G.; Gong, D.; Zhang, X.; Cai, D.;  
595 Degre, A. (2019). Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under  
596 different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China. *Catena*, v.173,  
597 p.38–47. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.043>.  
598

599 Guimarães, N. F.; Gallo, A. S.; Fontanelli, A.; Meneghin, S. P.; Souza, M. D. B.;  
600 Morinigo, K. P. G.; Silva, R. F. (2017). Biomassa e atividade microbiana do solo em  
601 diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, v.40, n., p. 34-  
602 44. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16041>.  
603

604 IBGE, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Instituto Brasileiro de Geografia  
605 e Estatística - IBGE.  
606

607 Inda Junior, A. V.; Bayer, C.; Conceição, P. C.; Boeni, M.; Salton, J.C.; Tonin, A.T.  
608 (2007). Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos  
609 tropicais e subtropicais brasileiros. *Ciência Rural*, v.37, p.1301-1307.  
610 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000500013>.  
611

612 John, B.; Yamashita, T.; Ludwig, B.; Paustian, K. (2005). Storage of organic carbon in  
613 aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use.  
614 *Geoderma*, v,128, p.63-79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>.  
615

616 Li, X.; Vogeler, I.; Schwendenmann, L. (2019). Soil aggregation and soil fraction  
617 associated carbon under different vegetation types in a complex landscape. *Soil Res* v.  
618 57, p.215–227. <https://doi.org/10.1071/SR18193>.  
619

620 LiuSui, Y.; Zhu, X.; Li, D.; Yan, C.; Sun, T.; Jia, H.; Zhao, X. (2019). Soil aggregate  
621 and intraaggregate carbon fractions associated with vegetation succession in an alpine  
622 wetland of Northwest China. *Catena*, v. 181, p. 104107.  
623 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104107>.  
624

625 Loss, A.; Basso, A.; Oliveira, B. S.; Koucher L. D. P.; de Oliveira, R. A.; Kurtz, C.;  
626 Lovato, P. E.; Curmi, P.; Brunetto, G.; Comin, J. J. (2015). Carbono orgânico total e  
627 agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola.  
628 *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.1224-1234.  
629 <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>.  
630

631 Kemper, W. D.; Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In:  
632 KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*.  
633 Madison, WI: Soil Science Society of America, p. 425-442. (Agronomy Monograph N.  
634 9).  
635

636 Montagnini, F.; Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited  
637 environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 61, p. 281-295.  
638 <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>.  
639

640 Monroe, P. H. M.; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C.; Vicente, L. C.  
641 (2022). Carbon and Nitrogen Occluded in Soil Aggregates Under Cacao-Based  
642 Agroforestry Systems in Southern Bahia, Brazil. *Journal of Soil Science and Plant*  
643 *Nutrition*, v. 22, p. 1326-1339. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00734-3>.  
644

645 Monroe, P. H. M.; Barreto-Garcia, P. A. B.; Barros, W. T.; Oliveira, F. G. R. B.;  
646 Pereira, M. G. (2021). Physical protection of soil organic carbon through aggregates in  
647 different land use systems in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid*  
648 *Environments*, 186, 10442. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104427>.  
649

650 Oades, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and  
651 implications for management. *Plant and Soil*, v.76, p.319-337.  
652 <https://doi.org/10.1007/BF02205590>.  
653

654 Oliveira, V. S.; Rolim, M. M.; Vasconcelos, R. F. B.; Pedrosa, E. M. R. (2010).  
655 Distribuição de Agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso  
656 em diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14,  
657 n.9, p.907-913. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900001>.  
658

659 Oliveira, C. V.; Vicente, L. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C.;  
660 Marques, J. R. B.; Barreto-Garcia, P. A. B. (2019). Carbon and nitrogen stock of  
661 Acrisols and Nitisols in South Bahia, Brazil. *Geoderma Regional*, e00218.  
662 <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00218>.  
663

664 Radomski, M. I.; Ribaski, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em  
665 sistema salvipastoril com *Grevillea robusta*. (2012). *Brazilian Journal of Forest*  
666 *Research/Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 32, n. 69.  
667 <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.53>.  
668

669 Rasse, D. P.; Rumpel, C.; Dignac, M. F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon?  
670 Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, v. 269, n. 1-2, p. 341– 356.  
671 <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>.  
672

673 Ribeiro, P. H.; Santos, J. V. V. M.; Coser, S. M.; Nogueira, O.; Martins, C. A. S.  
674 (2011). Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria  
675 orgânica do solo. *Revista Verde*, v.6, n.1, p. 43 – 50.  
676

677 Salgado, G. M.; Gama-Rodrigues, E. F.; Vicente, L. C.; Gama-Rodrigues, A. C.;  
678 Aleixo, S.; Marques, J. R. B. (2019). Stable carbon in soils under rubber tree (*Hevea*  
679 *brasiliensis*) agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. *SN Appl Sciences*  
680 1:790. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0815-7>.  
681

682 Salton, J. C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Boeni, M.; Conceição, P. C.; Fabrício, A. C.;  
683 Macedo, M. C. M.; Broch, D. L. (2008). Agregação e estabilidade de agregados do solo  
684 em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do*  
685 *Solo*, v. 32, p. 11-21. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>.  
686

687 Saha, S. K.; Nair, P. K. R.; Nair, V. D.; Kumar, B. M. (2010). Carbon storage in relation  
688 to soil size fractions under some tropical tree-based landuse systems. *Plant Soil*, v. 328,  
689 p.433–446. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0123-x>.  
690

691 Sarkhot, D. V.; Jokela, E. J.; Comerford, N. B. (2008). Surface soil carbon size–density  
692 fractions altered by loblolly pine families and forest management intensity for a  
693 Spodosol in the southeastern US. *Plant and Soil*, v. 307, p. 99–111.  
694 <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9587-3>.  
695

696 Santos, J. B.; Ramos, A. C.; Azevedo Junior, R.; Oliveira Filho, L. C. I.; Baretta, D.;  
697 Cardoso, E. J. B. N. (2018). Soil macrofauna in organic and conventional coffee  
698 plantations in Brazil. *Biota Neotropica*, 18:(2). [https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515)  
699 [2018-0515](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515).  
700

701 Stevenson, F.J. (1994). *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley  
702 & Sons, Inc.; New York.  
703

704 Six, J.; Bossuyt.; H.; Degryze, S.; Deneff, K. (2004). A History of research on the link  
705 between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil and*  
706 *Tillage Research*, v, 79, p.7-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>.  
707

708 Six, J.; Feller, C.; Deneff, K.; Ogle, S. M.; Sá, J. C. M.; Albrecht, A. (2002). Soil carbon  
709 matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage.  
710 *Agronomie*, v. 22, p.755-775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>.  
711

712 Six, J.; Elliott, E. T.; Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and  
713 microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage  
714 agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 32, p. 2099-2103.  
715 [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00179-6).  
716



717 Spohn, M.; Giani, L. (2011). Impacts of land use change on soil aggregation and  
718 aggregate stabilizing compounds as dependent on time. *Soil Biology and Biochemistry*,  
719 v. 43, n. 5, p. 1081-1088. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.029>.  
720

721 Tisdall, J. M.; Oades, L. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soil.  
722 *Journal of Soil Science*, v. 33, p. 141-163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>.  
723

724

725 Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Campos, D. V. B. de; Boddey, R. M. (2006). Aplicação de  
726 técnicas de <sup>13</sup>C em estudos de sequestro de C em solos agrícolas. In: ALVES, B. J. R.;  
727 URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A.  
728 O. (ed.). Manejo de sistemas agrícolas: impacto do sequestro de C e nas emissões de  
729 gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, cap. 1, p. 13-33.  
730

731 Vicente, T. F. da S.; Pedrosa, E. M. R.; Rolim, M. M.; Oliveira, V. S.; Oliveira, A. K.  
732 S.; Souza, A. M. P. L. (2012). Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados  
733 em canaviais com e sem vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e*  
734 *Ambiental*, v.16, n. 11, p.1215-1222. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001100010>.  
735

736

737 Vicente, L. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C.; Marciano, C. R.  
738 (2019). Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a  
739 southeast region of Brazil. *CATENA*, v. 182, p. 104-139.  
740 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104139>.  
741

742 Vicente, L. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, AC. (2016). Soil carbon  
743 stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil.  
744 *Geoderma Reg*, v.7, p.330–337. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.06.003>.  
745

746 Wang, Z.; Yin, X.; Li, X. (2015). Soil mesofauna effects on litter decomposition in the  
747 coniferous forest of the Changbai Mountains, China. *Applied Soil Ecology*, v. 92, p. 64-  
748 71. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.03.010>.  
749

750 Wei, X.; Shao, M.; Gale, W. J.; Zhang, X.; Li, L. (2013). Dynamics of aggregate-  
751 associated organic carbon following conversion of forest to cropland. *Soil Biology and*  
752 *Biochemistry*, v. 57, p. 876-883. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.020>.  
753

754 Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E. de S.; Neves, J. C. L. (2005). Carbono  
755 orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes  
756 manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.5, p.487-494.  
757 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500010>.  
758

759 Wohlenberg, E. V.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Blume, E. (2004). Dinâmica da  
760 agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em  
761 sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 28, p. 891-900.  
762 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500011>.  
763

764 Zinn, Y.L., Lal, R., Resck, D.V.S. (2005). Changes in soil organic carbon stocks under  
765 agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Reseach*, v, 84, p. 28–40.  
766 <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.007>.

**Periódico científico:** Catena - A1

**5 ARTIGO III**

**RELAÇÃO ENTRE A MESOFAUNA, AGREGAÇÃO, CARBONO E NITROGÊNIO  
DO SOLO EM SISTEMAS PRODUTIVOS DE CAFÉ**

---

**Situação:** Não submetido

1 **Relação entre a mesofauna, agregação, carbono e nitrogênio do solo em sistemas**  
2 **produtivos de café**

3  
4 Walleska Pereira Medeiros de Oliveira<sup>1</sup>, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia<sup>2</sup>,  
5 Paulo Henrique Marques Monroe<sup>2</sup>

6 <sup>1</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Programa de Pós-Graduação em  
7 Agronomia, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
8 Conquista, BA, Brasil.

9 <sup>2</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Departamento de Engenharia  
10 Agrícola e Solos, Estrada do Bem Querer, Km 4, Caixa Postal 95, 45083-900 Vitória da  
11 Conquista, BA, Brasil.

12 Autor para correspondência: walleskap@hotmail.com  
13

14 **Resumo**

15 A adoção de sistemas diversificados de produção costuma proporcionar efeitos positivos  
16 em diferentes atributos do solo, com destaque para os biológicos, que se mostram  
17 sensíveis às alterações ocasionadas pelo manejo. Tais sistemas podem estimular a  
18 colonização da fauna edáfica ou, ainda, o aumento da sua diversidade. Esses organismos  
19 podem contribuir significativamente para a formação de agregados estáveis e,  
20 conseqüentemente, para a estabilização do carbono orgânico do solo. O presente estudo  
21 objetivou avaliar se a organização e o manejo do sistema de cultivo de café  
22 condicionam a densidade e diversidade da mesofauna edáfica e a interação entre a  
23 mesofauna, agregação, C e N do solo e ocluso nos agregados. A mesofauna edáfica foi  
24 avaliada pelo método do funil de Berlese-Tullgren modificado, sendo realizado o  
25 fracionamento em classes de agregados (macroagregados, microagregados e  
26 silte+argila). As concentrações de carbono orgânico e nitrogênio total do solo e das  
27 frações oclusas dos macroagregados e microagregados foram determinadas por  
28 combustão seca em um sistema analisador elementar automatizado. O SAF amplia as  
29 condições para a ocorrência de uma maior riqueza e número de organismos  
30 detritívoros/decompositores e predadores, quando comparado a outros sistemas  
31 produtivos, pela maior disponibilidade de recursos e *microhabitats*. A agregação refletiu  
32 em um efeito positivo indireto da matéria orgânica do solo através do nitrogênio total.

33 **Palavras-chave:** Funil Berlese-Tullgren; fracionamento em classes de agregados;  
34 frações oclusas.  
35  
36

## 37 5.1 INTRODUÇÃO

38

39 O café é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, compondo uma área total  
40 de aproximadamente 2,2 milhões de hectares cultivados no ano de 2018, com destaque  
41 para a espécie *Coffea arabica* que representa 79% da produção (IBGE, 2021). Esta  
42 cultura é amplamente difundida no estado da Bahia e de fundamental importância para o  
43 desenvolvimento econômico e social da região. As lavouras de café no estado  
44 concentram-se em três regiões edafoclimáticas distintas: sudoeste, extremo sul e oeste  
45 (Lemos et al., 2010).

46 No Brasil, existem controvérsias sobre a produção de café sombreado (Baliza et  
47 al., 2014), apresentando produções ora comparáveis a pleno sol (Partelli et al., 2014),  
48 ora extremamente baixas (Campanha et al., 2007). Apesar disso, do ponto de vista  
49 ambiental, muitas são as vantagens verificadas no uso de sistemas diversificados de  
50 produção, como os sistemas agroflorestais (SAFs) e consórcios. Estudos evidenciam  
51 que plantas jovens de café crescem melhor e acumulam mais matéria seca em condições  
52 de sombreamento moderado, o qual propicia ao cafezal um microclima mais adequado  
53 ao seu desenvolvimento e produção (Schaller et al., 2003). Além disso, diversos autores  
54 destacam que a adoção de SAF proporciona efeito positivo nos atributos biológicos do  
55 solo (Silva et al., 2011; Cunha et al., 2014). Esses sistemas podem estimular a  
56 colonização da fauna (Martins et al., 2019) ou, ainda, o aumento da sua diversidade,  
57 como resultado da diversificação de espécies, que proporciona um ambiente mais  
58 heterogêneo para os seres vivos que vivem no solo, além de uma maior entrada de  
59 serapilheira, muitas vezes mais rica em nitrogênio (Sales et al., 2018; Guimarães et al.,  
60 2014; Oliveira et al., 2016).

61 A sensibilidade da fauna edáfica aos diferentes sistemas de manejo depende do  
62 quanto determinada prática pode ser considerada sustentável, no que se refere à  
63 qualidade do solo (Correia, 2002). Por responder às mudanças provocadas por  
64 atividades antrópicas e naturais, a comunidade da fauna do solo (estrutura, diversidade e  
65 presença de grupos específicos) pode ser utilizada para indicar a qualidade do solo e  
66 avaliar o nível de sustentabilidade de sistemas de produção (Silva et al., 2011, 2012).

67 Alguns grupos da fauna incluem organismos com tamanho entre 0,2 a 2 mm de  
68 comprimento, os quais são nomeados como mesofauna (Berude et al., 2015). Esses  
69 grupos desenvolvem principalmente funções detritívoras e predatórias nas teias tróficas  
70 na serapilheira e no solo, sendo de fundamental importância para a manutenção da

71 produtividade do ecossistema. Essas funções ecológicas podem ser associadas a  
72 diversos processos, como a ciclagem de nutrientes, o revolvimento do solo, a  
73 incorporação de matéria orgânica e o controle biológico de pragas do solo (Melo et al.,  
74 2009).

75 Assim, esses invertebrados podem contribuir significativamente para a formação  
76 de agregados estáveis e, conseqüentemente, para a estabilização do carbono orgânico do  
77 solo (COS) (Grandy et al., 2016; Rosa et al., 2015; Trentini et al., 2018). A magnitude  
78 dessa contribuição depende das características do ecossistema, como o tipo de  
79 vegetação, a composição das espécies e a idade, que regulam a qualidade da serapilheira  
80 acumulada e sua velocidade de transformação (Warren e Zou, 2002; Assunção et al.,  
81 2019). Resíduos vegetais com altos teores de lignina e compostos aromáticos  
82 apresentam alta resistência à decomposição, enquanto os resíduos vegetais com baixa  
83 recalcitrância (menor relação C/N, menores teores de lignina e polifenóis) tendem a  
84 favorecer a atividade da mesofauna e, conseqüentemente, a agregação do solo.

85 Os agregados do solo, estáveis em água, são comumente classificados em  
86 macroagregados (2000–250  $\mu\text{m}$ ) e microagregados (250–53  $\mu\text{m}$ ). Os macroagregados  
87 são formados por agentes temporários (raízes finas e hifas de fungos) e são mais  
88 influenciados pelo uso e manejo do solo do que os microagregados que são formados  
89 dentro dos macroagregados por agentes ligantes da decomposição de resíduos vegetais  
90 (Peng et al., 2015; Six et al., 2004). Ambos estão relacionados à proteção física da  
91 MOS, diminuindo a acessibilidade física dos microrganismos, que minimiza o potencial  
92 de decomposição e liberação de carbono para a atmosfera (Peng et al., 2017; Parron e  
93 Garcia, 2015; Dieckow et al., 2004).

94 No Brasil, diversos estudos sobre fauna edáfica vêm sendo realizados em cultivos  
95 homogêneos, sistemas agroflorestais e florestas nativas (Marques et al., 2014; Lima et  
96 al., 2010; Silva et al., 2020; Martins et al., 2019; Santos et al., 2018; Oliveira et al.,  
97 2016; Pereira et al., 2020; Pompeo et al., 2016; Rosa et al., 2015). Entretanto, ainda são  
98 escassos os estudos que avaliam a relação desses organismos com o carbono orgânico  
99 do solo nesses sistemas (Nascimento et al., 2021) e, particularmente, em sistemas  
100 produtivos de café (Silva et al., 2012; Sales et al., 2018; Texeira et al., 2014).

101 Assim, o presente estudo foi desenvolvido com base nas seguintes questões:  
102 Como a mesofauna do solo responde a diferentes sistemas produtivos de café? A  
103 mesofauna tem influência direta ou indireta na agregação e armazenamento de carbono  
104 e nitrogênio no solo? Para tanto, levantou-se as seguintes hipóteses: (1) sistemas

105 diversificados de café, de acordo com sua organização e manejo, acarretam diferentes  
106 magnitudes de alteração na comunidade da mesofauna edáfica, sendo que o SAF, pela  
107 maior disponibilidade de recursos e microhabitats, amplia as condições para a  
108 ocorrência de um maior número e diversidade de organismos do solo; (2) a mesofauna  
109 edáfica, por exercer importante papel na decomposição da MOS e aumento dos níveis  
110 de C e N no solo, atua de forma direta na agregação e estabilização de C e N no solo em  
111 sistemas de café, uma vez que a baixa perturbação do solo, nesses sistemas, reduz o  
112 turnover dos agregados e mantém constante as adições, decomposição e incorporação de  
113 resíduos vegetais ao solo.

114 Nesse contexto, este estudo objetivou avaliar se a organização e o manejo do  
115 sistema de cultivo de café condicionam a densidade e diversidade da mesofauna edáfica  
116 e a interação entre a mesofauna, agregação, C e N do solo e ocluso nos agregados.

117

## 118 **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 119 **5.2.1 Área de estudo**

120

121 O presente estudo foi conduzido no distrito de Lucaia, município de Planalto,  
122 microrregião sudoeste do estado da Bahia. A região apresenta clima tropical de altitude,  
123 do tipo Cwb, segundo classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), com altitude  
124 média de 943 metros, temperatura média anual de 19,2 °C e pluviosidade média anual  
125 de 750 mm (com estação seca de maio a setembro).

126 Foram avaliados três sistemas produtivos de café e uma área de vegetação  
127 natural: (1) SAF – sistema agroflorestal de *Coffea arabica* x *Grevilea robusta*  
128 (14°74'99'' S, 40°54'16'' O e 907 m de altitude), com espaçamento 3,5 x 15,0 m (entre  
129 árvores) e 1,5 x 2,5 m (entre cafeeiros), idade de 21 anos e área de aproximadamente 1  
130 ha; (2) CCB – *Coffea arabica* consorciado com banana (14°75' 07'' S, 40°52'16'' O e  
131 970 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 4,0 m (entre cafeeiros) e 1,0 x 16,0 m (entre  
132 bananeiras), idade de 21 anos (incluindo uma poda drástica do café aos oito anos de  
133 idade) e área de aproximadamente 5,3 ha; (3) CM – *Coffea arabica* em monocultivo  
134 (14°75'29'' S, 40° 54'32'' O e 905 m de altitude), com espaçamento 1,5 x 2,5 m, 19  
135 anos de idade (incluindo duas podas drásticas) e área de aproximadamente 6 ha; e (4)  
136 FN – floresta nativa com cerca de 30 anos sem interferência (14°44'58'' S, 40°31'14''  
137 O e 972 m de altitude), que foi utilizada como referência e está localizada em área

138 adjacente aos sistemas de café. A FN foi utilizada como referência por representar a  
139 condição original (antes da implantação dos sistemas de cultivo) (Figura 1).

140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175



177 **Figura 1.** Visão dos sistemas avaliados (1– sistema agroflorestal café + grevílea; 2 –  
178 consórcio de café + banana; 3 – café monocultivo; e 4 – floresta nativa) no município de  
179 Planalto, Bahia, Brasil.

180  
181  
182  
183  
184

O fragmento de floresta nativa tem vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual e área com cerca de 30 hectares. Trata-se de uma floresta com estrato arbóreo relativamente baixo (entre 10 e 15 m de altura), com predominância de ecótipos dos gêneros *Parapiptadenia* e *Anadenanthera* (IBGE, 2012) e estágio

185 intermediário de regeneração, segundo critérios descritos na Resolução CONAMA nº  
 186 01/1994 (BRASIL, 1994), pois não é submetida a nenhuma intervenção há mais de 20  
 187 anos.

188 O SAF foi estabelecido a partir da roçagem e abertura de sulcos, e adubação de  
 189 plantio (20 Mg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples) e orgânica de cobertura (12 kg de esterco  
 190 bovino). Nos sistemas CCB e CM, adotou-se preparo do solo com aração, gradagem e  
 191 abertura de sulcos, adubação de plantio (superfosfato simples: 150 g e 120 g por planta,  
 192 respectivamente) e de manutenção (ureia: 100 g e NPK 20-00-20: 260 g e 200 g por  
 193 planta). Em todos os sistemas, os tratos culturais foram realizados duas vezes ao ano,  
 194 com roçagem para controle de ervas espontâneas.

195 O solo dos sistemas estudados pertence à classe de Latossolo Amarelo Distrófico  
 196 (Santos et al., 2018) e apresenta caracterização química e granulométrica (profundidade  
 197 0-10 cm), conforme Tabela 1.

198

199 **Tabela 1.** Caracterização química e granulométrica do solo, matéria orgânica, umidade  
 200 e densidade do solo em três sistemas produtivos de café e floresta nativa, no município  
 201 de Planalto, Bahia, Brasil

Sistemas	pH <sup>(1)</sup>	MO	P	K	Ca	Mg	Umidade	DS	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>			%	g dm <sup>3</sup>	(mm)			
CM	6,3	20	21	0,49	3,4	1,9	9,83	1,54	340	260	120	280
CCB	6,1	30	10	0,50	4,5	1,9	14,23	1,46	310	310	90	290
SAF	5,8	28	3	0,44	3,5	1,7	13,48	1,21	280	285	115	320
FN	4,8	32	13	0,17	1,9	1	14,20	1,26	340	310	70	280

202 <sup>(1)</sup> Análises realizadas de acordo com EMBRAPA (2017): pH (água); P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al  
 203 trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Abreviações: FN - floresta nativa; CCB - café consorciado com banana; CM - Café em  
 204 monocultivo; SAF - sistema agroflorestal café + grevílea; MO = matéria orgânica do solo; DS = densidade do solo  
 205 obtida pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), que consistiu na pesagem das amostras de solo  
 206 coletadas em anel de volume conhecido (105,72 cm<sup>3</sup>), após secagem em estufa a 105 °C por 48 horas.

### 207 5.2.2 Amostragem do solo

208 Em cada sistema, foram demarcadas quatro parcelas, cada uma com área de 0,04  
 209 ha (20 x 20m), respeitando uma distância mínima de 20 m entre parcelas, onde amostras  
 210 de solo (camada 0-10 cm) foram coletadas em março de 2020. Em cada parcela, foram  
 211 definidos dois pontos de amostragem, totalizando oito pontos por sistema estudado,  
 212 cujos dados obtidos foram utilizados para se obter uma média de cada parcela.

213 Nas mesmas parcelas, pontos amostrais e profundidade, também foram coletadas  
 214 amostras de solo para determinação da umidade. Para isso, adotou-se a metodologia



215 descrita em Tedesco et al. (1995), que se baseia na diferença entre massa úmida e seca  
216 (a 105 °C, durante 48 horas).

217

### 218 **5.2.3 Mesofauna edáfica**

219

220 Para extração da mesofauna edáfica, utilizou-se a metodologia do funil de  
221 Berlese-Tullgren modificado (Aquino et al., 2006) que extrai organismos vivos com  
222 diâmetro corporal menor que 2 mm. As amostras de solo foram colocadas em funis com  
223 volume de aproximadamente de 150 cm<sup>3</sup> e submetidas à luz e calor de lâmpadas  
224 incandescentes de 20W, por sete dias. Nessas condições, os organismos se deslocam  
225 para a parte inferior do funil, caindo em uma solução contendo álcool 70%. Com o  
226 auxílio de uma lupa, procedeu-se a identificação dos invertebrados, sendo estes  
227 contados e separados em nível de grupo taxonômico, de acordo com Dindal (1990).

228 Foi calculada a riqueza total, a riqueza média e os índices de Shannon-Weaver  
229 (H') e de equabilidade de Pielou (J) (Odum e Barrett, 2011), de modo a avaliar o  
230 domínio dos grupos faunísticos e diversidade biológica nas áreas estudadas.

231

### 232 **5.2.4 Agregação, carbono e nitrogênio do solo**

233

234 Os dados de estoques de carbono orgânico do solo (COS) e nitrogênio total do  
235 solo (NT), utilizados neste estudo, foram extraídos do primeiro artigo desta tese. Da  
236 mesma forma, os dados de agregação (massa da fração particulada e oclusa dos macro e  
237 microagregados) e seus respectivos estoques de carbono e nitrogênio oclusos foram  
238 retirados do segundo artigo da tese, já que ambos os artigos foram desenvolvidos nas  
239 mesmas áreas e de forma concomitante ao presente estudo.

240

### 241 **5.2.5 Análise estatística**

242

243 Os dados de mesofauna do solo foram testados quanto à homogeneidade (teste de  
244 Bartlett a 5% de probabilidade) e normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de  
245 probabilidade). Após verificar a não normalidade e homogeneidade dos dados, adotou-  
246 se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, a 5% de significância, para comparação  
247 de médias.

248 De forma complementar, os principais grupos funcionais da mesofauna  
249 (Predador/Parasita, Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), carbono orgânico do  
250 solo (COS), carbono ocluso dos macro (COma) e microagregados (COmi), nitrogênio  
251 total (NT), nitrogênio ocluso dos macroagregados (NOma) e microagregados (NOmi),  
252 massa da fração particulada dos macro (MFPma) e microagregados (MFPmi) e a massa  
253 da fração oclusa dos macro (MFOma) e microagregados (MFOmi) foram submetidos à  
254 análise de componentes principais (ACP), por meio do *software* XLSTAT® 2019 (2015-  
255 2019) (Addinsoft, 2019). Essa análise teve o propósito de sintetizar a variação  
256 multidimensional dos tratamentos (sistemas) em um diagrama, ordenando-os nos  
257 componentes, de acordo com suas similaridades, em torno das variáveis consideradas.

258 Além disso, os efeitos diretos e indiretos foram avaliados por modelagem de  
259 equação estrutural, usando o programa de *software* SmartPls. O ajuste do modelo  
260 apresentou os seguintes índices: a raiz quadrada média erro de aproximação RMSEA  
261 ( $<0,05$ ), o Bentler-Bonett índice de ajuste normalizado NFI ( $>0,80$ ) e o índice de ajuste  
262 comparativo Bentler CFI ( $>0,80$ ).

263

## 264 **5.3 RESULTADOS**

### 265 **5.3.1 Fauna do solo**

266

267 Em todos os sistemas, foram registrados 208,63 ind cm<sup>-3</sup>, distribuídos em 17  
268 níveis taxonômicos, verificando-se diferenças significativas entre os sistemas estudados  
269 (Tabela 2). Os resultados de densidade e riqueza média evidenciaram que o SAF foi  
270 superior aos demais sistemas. Os índices de Shannon e equabilidade de Pielou foram  
271 mais baixos no CM em comparação aos demais sistemas.

272

273

274

275

276

277

278

279 **Tabela 2.** Abundância, riqueza e índices de Shannon e de Pielou da comunidade da  
 280 mesofauna edáfica em três sistemas produtivos de café e floresta nativa, no município  
 281 de Planalto, Bahia, Brasil

Categoria taxonômica	Sistemas				Grupo funcional			
					Geófago/ Bioturbador	Detritívoro/ Decompositor	Fitófago/ Praga	Predador/ Parasita
	SAF*	CCB	CM	FN				
Filo Arthropoda								
Subfilo Chelicerata								
Acari	54,00a	46,25a	40,00a	34,50a		X	X	X
Araneae	0,50a	0,13a	0,00	0,00			X	X
Subfilo Crustacea								
Isopoda	0,50a	0,13a	0,13a	0,38a		X	X	
Subfilo Hexapoda								
Blattaria - Isoptera	0,25a	0,25a	0,00a	0,13a	X	X	X	
Coleoptera - adulto	0,13a	0,00	0,00	0,00	X	X	X	X
Coleoptera - larva	0,25a	0,50a	0,25a	0,00			X	
Diplura	0,00	0,13a	0,00	0,00		X		X
Entomobryomorpha	1,63a	1,13a	0,63a	0,25a		X	X	
Hemiptera - Heteroptera	0,13a	0,00	0,00	0,00		X	X	X
Hemiptera - Sternorrhyncha	0,13a	0,00	0,28a	0,38a		X	X	X
Hymenoptera - Formicidae	7,38a	0,38b	3,13a	2,13ab		X	X	X
Psocoptera	0,25a	0,00	0,00	0,00		X	X	
Poduromorpha	5,75a	8,50a	1,75a	3,88a		X	X	
Symphyleona	0,00	0,38a	0,00	0,00		X	X	
Subfilo Myriapoda								
Chilopoda - Geophilomorpha	1,63a	0,25ab	0,25b	0,38ab	X			X
Classe Diplopoda	0,25a	0,13a	0,00	0,00		X	X	
Classe Symphyla	1,38a	0,63b	0,00	0,00		X	X	X
<b>Densidade (ind cm<sup>3</sup>)</b>	73,9a	46,3b	46,5b	42b				
<b>Riqueza total</b>	15	13	8	8				
<b>Riqueza média</b>	5,63 a	3,87 b	3,38b	3,88b				
<b>H'</b>	1,53	1,15	0,87	1,02				
<b>J</b>	0,39	0,31	0,29	0,34				

282 SAF = sistema agroflorestal + café; CCB = café consorciado com banana; CM = café em monocultivo; FN = floresta  
 283 nativa; Densidade (cm<sup>3</sup>) – Densidade total de indivíduos encontrados em 150 cm<sup>3</sup> de solo, H' = índice de diversidade  
 284 de Shannon, J = índice de equabilidade de Pielou. Letras iguais na linha, que comparam os sistemas, não diferem  
 285 entre si pelo teste Kurskal-Wallis a 5% de significância.

286

287 Os grupos mais representativos em todos os sistemas foram Acari e Collembola  
 288 (Entomobryomorpha, Poduromorpha e Symphyleona), perfazendo 77,3 e 11,1 % do  
 289 total de indivíduos amostrados, respectivamente.

290 Os predadores estão representados neste trabalho pelos grupos Acari, Araneae e  
 291 Chilopoda - Geophilomorpha, Diplura, Coleoptera - adulto, Hemiptera - heteroptera,  
 292 Hemiptera – Sternorrhyncha, Hymenoptera - Formicidae e Symphyla. Dentre estes,  
 293 Chilopoda foi o grupo com maior abundância em todos os sistemas estudados (Tabela  
 294 2). Essa ordem apresentou maior densidade no SAF em relação ao CM (Tabela 2).

295 Ainda em relação à variação de grupos entre sistemas, o SAF também mostrou maior  
296 densidade do grupo Symphyla. Esse mesmo sistema, juntamente com CM e FN, tiveram  
297 maior abundância do grupo Formicidae, enquanto CCB não se diferiu da FN.

298 A presença e ausência de grupos da fauna evidenciaram contrastes entre os  
299 diferentes sistemas estudados, com destaque para os grupos Symphypleona e Diplura,  
300 presentes apenas no SAF. As ordens Coleoptera - adulto, Hemiptera – Heteroptera e  
301 Psocoptera também estiveram presentes apenas no SAF. Já os grupos Coleoptera –  
302 larva, Hemiptera – Sternorrhyncha e Isoptera estiveram ausentes nos sistemas FN, CCB  
303 e CM, respectivamente.

304

### 305 **5.3.2 Interação entre fauna edáfica e agregação do solo**

306

307 A análise conjunta dos dados pela ACP explicou 81,02 % da variabilidade dos  
308 dados por meio de dois componentes, sendo 51,08 % explicado pelo componente  
309 principal 1 (CP1) e 29,94% pelo componente principal 2 (CP2) (Figura 2). A dispersão  
310 gráfica dos tratamentos em relação aos eixos mostra que os sistemas CM e CCB estão  
311 situados na parte inferior do gráfico sem grande distanciamento, enquanto FN e SAF se  
312 posicionaram de forma isolada em quadrantes distintos.

313

314

315

316

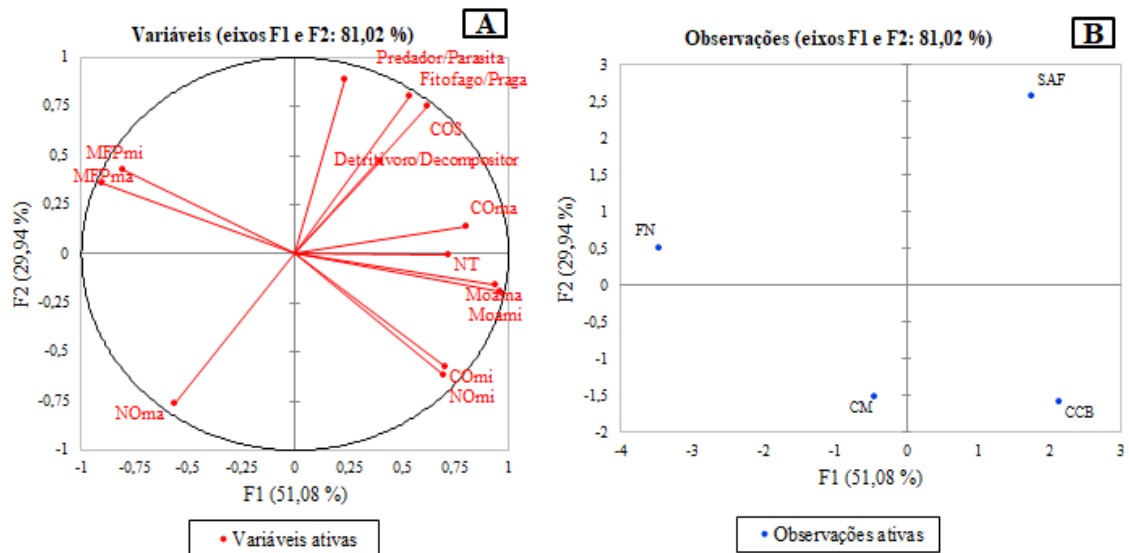
317

318

319

320

321



322

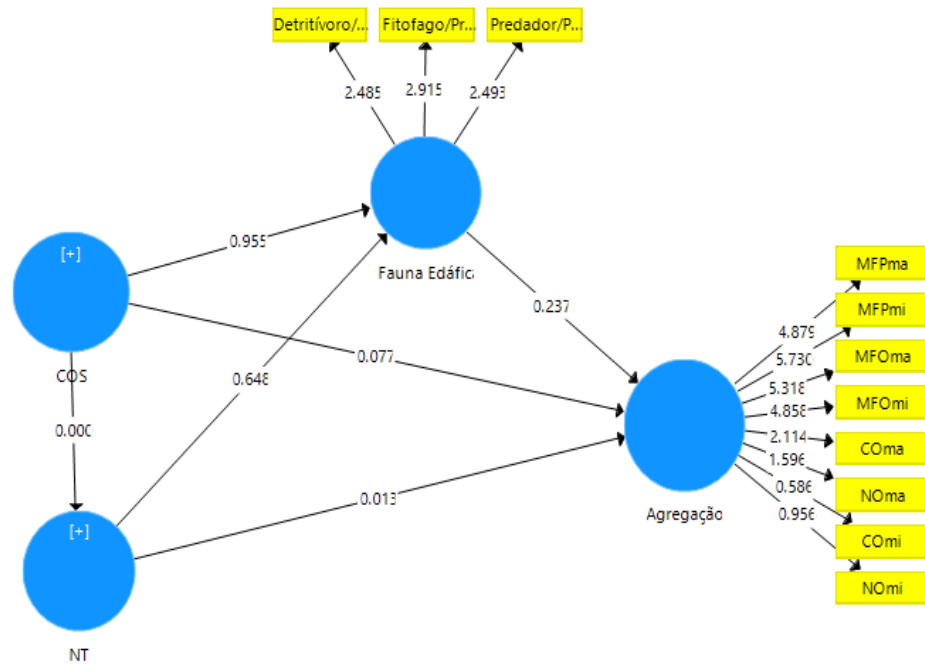
323 **Figura 2.** Diagrama de ordenação das variáveis (A) e dos tratamentos (B) produzidos  
 324 pela análise de componentes principais dos grupos funcionais da mesofauna edáfica  
 325 (Predador/Parasita, Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), carbono orgânico do  
 326 solo (COS), carbono ocluso dos macro (COma) e microagregados (COmi), nitrogênio  
 327 total (NT), nitrogênio ocluso dos macroagregados (NOma) e microagregados (NOmi),  
 328 massa da fração particulada dos macro (MFPma) e microagregados (MFPmi) e a massa  
 329 da fração oclusa dos macro (MFOMA) e microagregados (MFOMi) em três sistemas  
 330 produtivos de café (SAF – sistema agroflorestal café + grevêlea; CBB – café  
 331 consorciado com banana; CM – café em monocultivo e floresta nativa, no município de  
 332 Planalto, Bahia, Brasil.

333

334 As variáveis mais associadas ao PC1 e, portanto, mais preponderantes para a  
 335 diferenciação da FN e CCB foram: COma, COmi, NOmi, NT, MFPma, MFPmi,  
 336 MFOMA e MFOMi. Por sua vez, as variáveis mais fortemente associadas ao PC2 e,  
 337 consequentemente, ao SAF foram os grupos funcionais (Predador/Parasita,  
 338 Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor) e COS. O CM foi o sistema que menos se  
 339 associou às variáveis estudadas.

340 O modelo estrutural ajustado (Figura 3) foi formado por duas variáveis latentes  
 341 (Fauna edáfica e Agregação) que apresentaram efeitos diretos e indiretos entre as  
 342 variáveis estudadas. De acordo com o modelo, o COS tem um efeito positivo direto  
 343 tanto na agregação como no NT, e um efeito indireto na agregação por meio do NT.  
 344 Além disso, o NT também apresentou um efeito positivo direto na agregação.

345



346

347 **Figura 3.** Diagrama de caminhos da análise de equações estruturais para o efeito da  
 348 mesofauna e agregação do solo em sistemas produtivos de café. Variáveis latentes:  
 349 fauna edáfica e agregação. Variáveis observadas: nitrogênio (NT), carbono orgânico do  
 350 solo (COS), principais grupos funcionais do estudo da mesofauna (Predador/Parasita,  
 351 Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), massa da fração particulada do macro  
 352 (MFPma) e microagregados (MFPmi) e a massa da fração oclusa do macro (MFOma) e  
 353 microagregados (MFOmi), carbono ocluso do macro (COma) e microagregados  
 354 (COmi), nitrogênio ocluso do macroagregados (NOma) e microagregados (NOmi).  
 355 Modelos de equações estruturadas ( $p < 0,1$ ).  
 356

## 357 5.4 DISCUSSÃO

### 358 5.4.1 Fauna do solo

359

360 A presença do componente arbóreo dos SAFs condicionou o aumento da  
 361 densidade e riqueza da fauna edáfica. O aumento da biodiversidade, nos sistemas de  
 362 produção de café, favorece o desenvolvimento de grupos de organismos com diferentes  
 363 funções ecológicas em virtude da adição de resíduos orgânicos de diferentes espécies.  
 364 Sistemas mais conservacionistas, como os SAFs, em virtude da presença do  
 365 componente arbóreo e semelhança com sistemas naturais em estrutura e diversidade,  
 366 podem proporcionar condições favoráveis à fauna invertebrada do solo (Barros et al.,  
 367 2008). Dentre essas condições, o acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais  
 368 superiores do solo influencia positivamente a densidade e riqueza de grupos da fauna  
 369 (Aquino et al., 2008).

370 Os resultados menos expressivos de H' e J, no sistema CM, podem ter relação  
371 com a maior incidência do táxon Acari. Isso demonstra que um maior número de  
372 indivíduos não implicou, necessariamente, em aumento da diversidade associada a esse  
373 sistema. Segundo Walker (1989), quanto maior a densidade de fauna em determinada  
374 cobertura vegetal, maior será a chance de algum grupo estar predominando e, portanto,  
375 reduzindo a equabilidade.

376 A dominância dos grupos Acari e Collembola é esperada, uma vez que, em geral,  
377 são os organismos mais abundantes da mesofauna do solo que, juntos, desempenham  
378 papel primordial na melhoria da fertilidade do solo, na atividade microbiana e no  
379 controle de pragas (Berude et al., 2015). Os colêmbolos são a base alimentar de uma  
380 grande variedade de outros organismos e, por isso, sua presença favorece a diversidade  
381 do ecossistema (Baretta et al., 2011). Sales et al. (2018), também estudando a fauna  
382 edáfica em sistema agroflorestal e em monocultivo de café, observaram que o grupo  
383 Acari foi o que apresentou maior densidade de indivíduos em ambos os sistemas.

384 Embora as ordens Entomobryomorpha, Poduromorpha e Symphypleona  
385 costumem responder em curto prazo à maior presença de serapilheira sobre o solo  
386 (Scoriza et al., 2015), não foram observadas diferenças entre os sistemas estudados,  
387 sendo Poduromorpha o que apresentou maior abundância.

388 A menor abundância da ordem Chilopoda, no CM, deve estar relacionada à menor  
389 quantidade e diversidade de recursos disponíveis nesse sistema. Por serem predadores,  
390 esses organismos dependem da ocorrência de outros organismos, a qual é condicionada  
391 pelas condições do ambiente e disponibilidade de alimento. Nesse sentido, a presença de  
392 predador pode ser atribuída à tendência de maior abundância de alguns grupos  
393 (Machado et al., 2015; Begon et al., 2005).

394 Silva et al. (2020), estudando a fauna edáfica como indicadora de qualidade do  
395 solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro, encontraram maior  
396 abundância de predadores no ambiente mais conservado. Os predadores, por serem  
397 animais do topo da cadeia alimentar, podem expressar o equilíbrio de um ecossistema,  
398 já que, para surgirem, é preciso haver toda a cadeia anterior a esta estruturada  
399 (Scoriza et al., 2015). A presença dos predadores é um indicativo de uma área estável e  
400 de que o ambiente está mantendo funcional a cadeia trófica, tendo em vista que esses  
401 organismos atuam na regulação da cadeia alimentar (Cunha Neto et al., 2012).

402 A maior abundância do grupo Formicidae, no SAF e CM, pode ser indicativo de  
403 um certo nível de modificação no ambiente, já que as formigas são bons indicadores das

404 condições de degradação, preservação ou recuperação ambiental. Esses organismos são  
405 dominantes no ecossistema, apresentando alta abundância e riqueza de espécies, altas e  
406 ampla distribuição geográfica, além de muitos táxons especializados (Bignell et al.,  
407 2010; Louzada e Zanetti, 2013). Segundo Aquino et al. (2008), as formigas estão entre  
408 os grupos considerados fundamentais para o funcionamento do ecossistema, pois  
409 ocupam todos os níveis tróficos na cadeia alimentar do solo.

410 Já a maior densidade do grupo Symphyla, no SAF, sugere a ocorrência de  
411 material em estágio avançado de decomposição (Berude et al., 2015), que proporciona  
412 um ambiente mais propício ao estabelecimento desses organismos (Calheiros et al.,  
413 2019). De acordo com Morais e Silva (2009), a intensificação da agricultura pode  
414 reduzir a biodiversidade do grupo Symphyla. A cobertura constante do solo pela  
415 serapilheira em SAFs promove maior umidade do solo e temperaturas mais baixas,  
416 quando comparados a sistemas agrícolas convencionais (Achat et al., 2015).

417

#### 418 **5.4.2 Interação entre fauna edáfica e agregação do solo**

419

420 A dissimilaridade do SAF e FN em relação aos outros sistemas (Figura 1B) pode  
421 ser atribuída a diferenças na composição da vegetação e à grande disponibilidade de  
422 recursos alimentares e microhabitats, que estaria propiciando um meio específico e  
423 favorável para a fauna edáfica. A posição da FN à esquerda do gráfico (Figura 1B) e  
424 mais associada às massas das frações particulada (MFPma e MFPmi) (Figura 1A) deve  
425 estar relacionada com o aporte constante de resíduos vegetais e o não revolvimento do  
426 solo, que, segundo Rosseti et al. (2014), contribui para o acúmulo da fração particulada,  
427 que é a constituída principalmente por resíduos orgânicos em estágios iniciais de  
428 decomposição (Christensen, 2000). Por sua vez, a localização do SAF à direita do  
429 gráfico e mais associado aos principais grupos funcionais (Predador/Parasita,  
430 Fitófago/Praga e Detritívoro/Decompositor), ao COS e ao CO<sub>MA</sub> demonstra uma estreita  
431 relação entre o desempenho da fauna e estabilização do carbono do solo nesse sistema.

432 A maior associação da fauna e C orgânico com o SAF pode ser explicado pelas  
433 adições de adubação orgânica nesse sistema. Segundo Baretta et al. (2003), a adição de  
434 adubos orgânicos pode beneficiar a fauna edáfica, principalmente pelo fornecimento de  
435 alimento e nutrientes, e como fonte de energia, o que favorece a multiplicação dos  
436 organismos (Scheffer, 1991).



437 A aplicação de adubo orgânico, sozinho ou em combinação com fertilizantes  
438 inorgânicos, mostra-se eficaz no aumento do COS e suas frações (Blair et al., 2006;  
439 Rudrappa et al., 2006; Purakayastha et al., 2008; Lou et al., 2011). Segundo Pimentel et  
440 al. (2006), o maior teor de carbono orgânico aumenta a população e a ocorrência de  
441 espécies decompositoras/detrítivas e predadoras/parasitas.

442 Já a aproximação entre CM e CCB (Figura 1B) pode ser explicada pela  
443 característica de composição desses sistemas, que os torna menos diversificados,  
444 quando comparados ao SAF e à FN. No caso do CCB, embora constitua um sistema  
445 heterogêneo, a segunda espécie está presente em baixa densidade em relação à  
446 quantidade de plantas de café, o que estaria ocasionando menores entradas de resíduos  
447 orgânicos e uma serapilheira menos diversa.

448 O CCB foi posicionado no mesmo quadrante das massas das frações oclusas  
449 (MFOma e MFOmi) e dos estoques de C e N oclusos nos microagregados (COmi e  
450 NOmi), o que indica que esse sistema seria mais favorável à oclusão de matéria  
451 orgânica em macro e microagregados e corrobora resultados discutidos no artigo 2. De  
452 acordo com Faria et al. (2021), a ausência de revolvimento, aliada à maior cobertura do  
453 solo pela biomassa da bananeira em consórcios, contribui para preservação da estrutura  
454 dos agregados. De forma semelhante, Rossi et al. (2016), estudando a formação de  
455 agregados em sistema de manejo agroecológico composto por diferentes espécies,  
456 inclusive a bananeira, observaram que a maior cobertura do solo favoreceu uma lenta  
457 decomposição da matéria orgânica e, como consequência, uma maior estabilidade dos  
458 agregados.

459 O modelo de equação estrutural (MEE) revelou que o COS teve um efeito  
460 positivo no NT, e um efeito indireto na agregação, através do NT. De maneira geral, os  
461 agregados do solo são o resultado da junção de partículas de areia, silte e argila, com a  
462 matéria orgânica do solo (MOS) como agente ligante. Por essa razão, o aumento de  
463 matéria orgânica melhora a agregação do solo, diminui a exposição do COS, que  
464 permanece dentro dos agregados, além de promover melhorias na estabilidade  
465 estrutural, porosidade total e atividade microbiana e enzimática, entre outros benefícios  
466 (Carneiro et al., 2008; Padilha et al., 2014). Além disso, a MOS é a principal fonte de C  
467 e N para o solo, o que explica a íntima relação entre a dinâmica de C e de N  
468 (Vasconcelos et al., 2010).

469 Vários trabalhos têm evidenciado a influência dos teores de C e N sobre a  
470 agregação do solo (Castro Filho et al., 1998; Bertol et al., 2004; Costa et al., 2008). De

471 acordo com Costa Jr et al. (2012), a estabilidade dos agregados nos solos tem relação  
472 com a presença de resíduos culturais em superfície e com a influência de alguns fatores,  
473 como os teores de C e N.

474 O MEE também evidenciou ausência de relação direta e indireta entre  
475 organismos da mesofauna e a agregação. Nascimento et al. (2021), estudando a  
476 interação entre a mesofauna e o carbono orgânico em agregados, em áreas de transição  
477 de Caatinga e Mata Atlântica no sudoeste da Bahia, também não constataram relação  
478 direta entre a fauna e a agregação. Por outro lado, os autores observaram uma relação  
479 direta entre a riqueza da mesofauna e o COT do solo, e entre este último e os agregados  
480 do solo (macro e microagregados), o que demonstra que, indiretamente, por intermédio  
481 do COS, a fauna pode exercer influência sobre a agregação em certa magnitude.

482 Segundo Bronick e Lal (2005), a fauna do solo influencia a formação e  
483 estabilização de agregados a partir da liberação de compostos orgânicos e incorporação  
484 do solo. Os grupos da fauna edáfica que mais influenciam a agregação do solo são  
485 aqueles capazes de escavar e/ou ingerir as partículas do solo, formando galerias,  
486 câmaras, ninhos, montes e pelotas fecais (Lavelle et al., 1994). Exemplo disso são as  
487 ordens conhecidas como “engenheiros do ecossistema” (minhocas, cupins e formigas),  
488 cujas pelotas fecais produzidas contêm matéria orgânica estabilizada (Lavelle, 1997).  
489 Uma grande proporção dos organismos da mesofauna, de modo geral, não desempenha  
490 essa função.

491

## 492 **5.5 CONCLUSÃO**

493 No que diz respeito à mesofauna edáfica, a hipótese foi confirmada, já que o SAF  
494 amplia as condições para a ocorrência de uma maior riqueza e número de organismos  
495 detritívoros/decompositores e predadores, quando comparado a outros sistemas  
496 produtivos, pela maior disponibilidade de recursos e *microhabitats*;

497 Por outro lado, a hipótese de que a mesofauna edáfica exerce efeito direto na  
498 agregação e estabilização de C e N não se confirmou. No entanto, a agregação refletiu  
499 um efeito positivo indireto da matéria do solo através do nitrogênio total.

500

## 501 **5.6 AGRADECIMENTOS**

502 À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela  
503 concessão da bolsa ao primeiro autor; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
504 Nível Superior (CAPES); e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

## 505 5.7 REFERÊNCIAS

506

507 Achat, D.L.; Deleuze, C.; Landmann, G.; Pousse, N.; Ranger, J.; Augusto, L. (2015).  
508 Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soil and tree  
509 growth: a metaanalysis. *Forest Ecology and Management*, 348: 124-141.  
510 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>.

511

512 Aquino A.M., Correia M.E.F., Badejo M.A. (2006). Amostragem da mesofauna edáfica  
513 utilizando Funis de Berlese-Tullgren Modificado. *Embrapa Agrobiologia-Circular*  
514 *Técnica (INFOTECA-E)*, Seropédica, RJ, 4p.

515

516 Aquino A. M.; Silva R. F; Mercante F. M; Correia M. E. F; Guimarães M. F; Lavelle P.  
517 (2008). Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till  
518 system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology*, n. 44, v. 2, p. 191-197.  
519 <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.001>

520

521 Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Golçalves, J. L. M.; Sparovek, G. (2014).  
522 Köppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6,  
523 p. 711-728.

524

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

529

530 Baliza, D. P.; Santos, M. O.; Alves, J. D.; Guimarães, R. J.; Cunha, R. L. 2014.  
531 METABOLISMO DA SACAROSE EM CAFEEIROS SUBMETIDOS A  
532 DIFERENTES Baliza, D. P. et al. NÍVEIS DE SOMBREAMENTO. *Coffee Science*,  
533 *Lavras*, v. 9, n. 4, p. 445 - 455, out./dez.

534

535 Baretta, D., Santos, J., Segat, J. C., Geremia, E. V., Oliveira Filho, L. C. L., Alves, M.  
536 V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG-FLHO, O.; MAFRA, Á.  
537 L.; GATIBONI, L. C. (ed.). *Tópicos em ciência do solo*. 7. ed. Viçosa: Sociedade  
538 Brasileira de Ciência do Solo, p. 119-170.

539

540 Baretta, D.; Santos, J. C. P.; Mafra, A. L.; Wikdner, L. P.; Miquelluti, D. J. (2003).  
541 Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual efetada pelo manejo do solo  
542 na região oeste catarinense. *Revista Ciência Agroveterinárias*, v.2, p.97-106.

543

544 Barros, E.; Mahieu, J.; Tapia-Coral, S.; Nascimento, A. R. L.; Lavelle, P. (2008).  
545 Comunidade da macrofauna do solo na Amazônia brasileira. In: MOREIRA, F.M.S.;  
546 SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). *Biodiversidade do solo em ecossistemas*  
547 *brasileiros*. Lavras: UFLA, p.171-191.

548

549 Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L. (2005). *Ecology from individuals to*  
550 *ecosystems*. Malden, Blackwell Publishing. 738 p.

551

552 Berude M. C., Galote J. K. B., Pinto P. H., Amaral A. A. A. (2015). Mesofauna do solo  
553 e sua importância como bioindicadora. *Enciclopédia Biosfera*, 11:(22): 14-28.

554

555 Bertol, I.; Albuquerque, J.A.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W. A. (2004).  
556 Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e  
557 sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do*  
558 *Solo*, v. 28, p.155-163. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>.  
559

560 Bignell, D.; Constantino, R.; Csudi, C.; Karyanto, A.; Konaté, S.; Louzada, J. N. C.;  
561 Susilo, F. X.; Tondoh, J. E.; Zanetti, R. (2010). Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.;  
562 HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). *Manual de biologia dos solos tropicais:*  
563 *amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA, p. 121-137.  
564

565 Blair, N.; Faulkner, R. D.; Till, A. R.; Poulton, P. R. (2006). Long-term management  
566 impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. *Soil and*  
567 *Tillage Research*, v. 91, n. 1-2, p. 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.002>.  
568

569 Brasil. (1994). Resolução CONAMA nº. 1, de 31 de Janeiro de 1994. Brasília: Diário  
570 Oficial da União, 1684-1685 p.  
571

572 Bronick, C. J.; Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*,  
573 *Amsterdam*, v. 124, n. 1-2, p. 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.  
574

575 Campanha, M., Santos, R., Freitas, G., Martinez, H., Jaramillo-Botelo, C., Garcia, S.  
576 (2007). Análise comparativa das características da serapilheira e do solo em cafezais  
577 (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da  
578 Mata MG. *Revista Árvore*, n. 31, p. 805-812. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500004)  
579 [67622007000500004](https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500004).  
580

581 Carneiro, M. A. C.; Melo, L. B. C.; Assis, P. C. R.; Pereira, H. S.; Paulino, H. B.;  
582 Silveira Neto, A. N. (2008). Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob  
583 diferentes sistemas de manejo e uso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, p.276-283.  
584

585 Calheiros A. R.; Silva C. S. R; Acioli T. G.; Araujo K. D.; Souza M. A. (2019). Relação  
586 da umidade do solo com a diversidade de organismos da mesofauna edáfica, Alagoas.  
587 *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2(6): 1924-1929.  
588

589 Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. (1998). Estabilidade dos agregados e  
590 sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função  
591 de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista*  
592 *Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527- 538. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019)  
593 [06831998000300019](https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019).  
594

595 Correia, M. E. F. (2002). Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo de  
596 decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas. *Seropédica:*  
597 *Embrapa Agrobiologia*, 33p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 156).  
598

599 Costa, F.S.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Mielniczuk, J. (2008). Estoque de carbono  
600 orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de  
601 manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 32, p. 323-332.  
602 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>.  
603

604 Christensen, B. T. (2000). Organic matter in soil: structure, function and turnover.  
605 Tjele: DIAS, 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).  
606

607 Cunha Neto F. V., Correia M. E. F., Pereira G.H.A., Pereira M. G., Leles P. S. S.  
608 (2012). Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary  
609 forest. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:(5), p. 1407-1417.  
610 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500004>.  
611

612 Cunha, J. A. da S., Andrade, E. B. de., Barros, R. F. M. de. (2014). Associação da  
613 diversidade de artrópodes com características do solo em diferentes plantios de  
614 melancia. *Revista Biociências*, v.20, p.22-31.  
615

616 Dieckow, J.; Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J. (2004). Sistemas  
617 conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono. In: *Embrapa*  
618 *Instrumentação Agropecuária*, São Carlos, Brazil, 17 pp.  
619

620 Dindal D.L., (1990). *Soil biology guide*. Wiley, New York, 1376 p.  
621

622 Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (2017). *Manual de Métodos*  
623 *de Análise de Solo*. Embrapa, Brasília, 573 p.  
624

625 Faria, V. L.; Melloni, R.; Melloni, E. G. P. (2021). Qualidade do Solo sob Cultivo de  
626 Banana em Sistemas de Produção Orgânico e Convencional em Gonçalves. *Revista*  
627 *Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.03, p. 1206-  
628 1219. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1206-1219>.  
629

630 Guimarães, G. P., Mendonça, E. de S., Passos, R. R., Andrade, F. V. (2014). Stocks and  
631 oxidize fractions of soil organic matter under organic coffee agroforestry systems.  
632 *Coffee Science*, v. 9, 132-141.  
633

634 Grandy, A. S.; Wieder, W. R.; Wickings, K.; Kyker-Snowman, E. (2016). Beyond  
635 microbes: Are fauna the next frontier in soil biogeochemical models?. *Soil Biology and*  
636 *Biochemistry*, v. 102, p. 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.008>.  
637

638 IBGE, (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*, Instituto Brasileiro de  
639 *Geografia e Estatística - IBGE*.  
640

641 Lavelle P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that  
642 determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, v. 27, p. 93-132.  
643 [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0).  
644

645 Lavelle, P.; Dangerfield, M.; Fragoso, C.; Eschenbrenner, V.; Lopez-Hernandez, D.;  
646 Pashanasi, B.; Brusaard, L. (1994). The relationship of between soil macrofauna and  
647 tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. *The biological management of*  
648 *tropical soil fertility*. New York: J. Wiley & Sons, p. 137-169.  
649

650 Lemos, C. L., Matsumoto, S. N., Viana, A. E. S., Coelho, R. A., César, F. R. C. F.  
651 (2010). Metabolismo de nitrogênio em dois sistemas de cultivo de café sob veranico da  
652 estação úmida. *Revista Ceres*, v. 57, n.1, p. 034 - 041. [https://doi.org/10.1590/S0034-](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100007)  
653 [737X2010000100007](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100007).

654 Lima, S. S., Aquino, A. M. de, Leite, L. F. C., Velásquez, E., Lavelle, P. (2010).  
655 Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes  
656 agroecossistemas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, n.45, 322-331.  
657 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300013>.  
658

659 Lou, Y.; Xu, M.; Wang, W.; Sun, X.; Liang, C. (2011). Soil organic carbon fractions  
660 and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse  
661 vegetables. *Soil Use and Management*, v. 27, n. 2, p. 163-169.  
662 <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00325.x>.  
663

664 Louzada, J. N. C.; Zanetti, R. (2013). Bioindicadores. In: MOREIRA, F. M. S.;  
665 CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). *O ecossistema solo:*  
666 *componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. Lavras: Editora da  
667 UFLA, p. 79- 128.  
668

669 Marques, D. M., Silva, A. B. da., Silva, L. M. da., Moreira, E. A., Pinto, G. S. (2014).  
670 Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v.30,  
671 p.1588-1597.  
672

673 Machado, D. L., Pereira, M. G., Correia, M. E. F., Diniz, A. R., Menezes, C. E. G.  
674 (2015). Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional  
675 semidecidual na bacia do rio Paraíba do Sul-RJ. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 1, p. 91-106.  
676 <https://doi.org/10.1590/1980-509820152505091>.  
677

678 Nascimento, M. S.; Barreto-Garcia, P. A. B.; Monroe, P. H. M.; Scoriza, R. N.; de  
679 Souza Gomes, V. (2021). Interaction between edaphic mesofauna and organic carbon  
680 within water-stable aggregates in forestry systems: A case study in northeastern Brazil.  
681 *Catena*, v. 202, p. 105269. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105269>.  
682

683 Martins, E. M.; Silva, E. R.; Campello, E. F. C.; Lima, S. S.; Nobre, C. P.; Correia, M.  
684 E. F.; Resende, A. S. (2019). O uso de sistemas agroflorestais diversificados na  
685 restauração florestal na Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, v, 29, n. 2.  
686 <https://doi.org/10.5902/1980509829050>.  
687

688 Melo, F. V. de.; Brown, G. G.; Constantino, R.; Louzada, J. N. C.; Luizão, F. J.; Morais,  
689 J. W. de.; Zanetti, R. (2009). A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade  
690 e como bioindicadores. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, boletim  
691 informativo.  
692

693 Morais, J. W.; Silva, E. P. (2009). Occurrence of Symphyla (Myriapoda) in the region  
694 of the Upper Solimões River, Amazonas, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.  
695 44, p. 981-983. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800028>.  
696

697 Odum E.P.; Barrett G.W. (2011). *Fundamentos de ecologia*. Cengage Learning, São  
698 Paulo.  
699

700 Oliveira, C. C., Alvarenga, M. I. N., Melloni, R., Pinto Neto, J. N., Pinheiro, L. B. A.,  
701 Melloni, E. G. P., Madeira, C. L. (2016). Sombreamento de café (*Coffea arabica* L.) por  
702 araucária (*Araucaria angustifolia* L.) e seus efeitos na macrofauna e atributos físicos do

703 solo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 6, p.1668-  
704 1676. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p1668-1676>.  
705  
706 Padilha, K. M.; Freire, M. B. G. S.; Duda, G.P.; Santos, U. J.; Silva, A. O.; Souza, E. R.  
707 (2014). Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da  
708 agroindústria de café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p.1377-1386.  
709 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500003>.  
710  
711 Parron, L. M.; Garcia, J. R. O. (2015). Serviços ambientais: conceitos, classificação,  
712 indicadores e aspectos correlatos. *Serviços Ambientais Em Sistemas Agrícolas e*  
713 *Florestais Do Bioma Mata Atlântica*.  
714  
715 Peng, X.; Horn, R.; Hallett, P. (2015). Soil structure and its functions in ecosystems:  
716 Phase matter & scale matter. *Soil Tillage Res.*  
717  
718 Peng, X.; Zhu, Q.; Zhang, Z.; Hallett, P.D. (2017). Combined turnover of carbon and  
719 soil aggregates using rare earth oxides and isotopically labelled carbon as tracers. *Soil*  
720 *Biol. Biochem*, v.109, p. 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.002>.  
721  
722 Pereira, J. M., Baretta, D., Oliveira Filho, L. C. L., Maluche-Baretta, C. R. D., Cardoso,  
723 E. J. B. N. (2020). Fauna edáfica e suas relações com atributos químicos, físicos e  
724 microbiológicos em Floresta de Araucária. *Ciência Florestal*, 30:(1) p. 242-257.  
725 <https://doi.org/10.5902/1980509831377>.  
726  
727 Pimentel, M. S.; Aquino, A. M.; Correia, M. E. F.; Costa, J. R.; Ricci, M. S.F.; De-Polli,  
728 H. (2006). Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e  
729 floresta em região do Médio Paraíba Fluminense-RJ. *Coffee Science*, Lavras, v. 1, n. 2,  
730 p. 85-93, dez. 2006.  
731  
732 Pompeo, P. N., Santos, M. A. B., Biasi, J. P., Siqueira, S. F., Rosa, M. G., Baretta,  
733 C.R.D., Barreta, D. (2016). Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa  
734 Catarina – Brasil. *Revista Scientia Agraria*, 17:(1), p. 42-51.  
735  
736 Purakayastha, T.J.; Rudrappa, L.; Singh, D.; Swarup, A.; Bhadraray, S. (2008). Long-  
737 term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize–  
738 wheat–cowpea cropping system. *Geoderma*, v. 144, n. 1-2, p. 370-378.  
739 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.006>.  
740  
741 Rosa, M. G.; Klauberg Filho, O.; Bartz, M. L. C.; Mafra, A. L.; Sousa, J. P. F. A.;  
742 Baretta, D. (2015). Macrofauna Edáfica e Atributos Físicos e Químicos em Sistemas de  
743 Uso do Solo no Planalto Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 6.  
744 <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150033>.  
745  
746 Rosseti, K. V.; Teixeira, D. D. B.; Reis, I. M. S.; Centurion, J. F. (2014). Agregação de  
747 um Latossolo em função de diferentes ciclos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita  
748 mecanizada. *Revista Agro@mbiente*, v.8, p.10-17.  
749  
750 Rossi, C. Q.; Pereira, M. G.; Moura, O. V. T.; Almeida, A. P. C. (2016). Vias de  
751 formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de

752 manejo agroecológicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, p.1677-1685.  
753 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000700068>.  
754  
755 Rudrappa, L.; Purakayastha, T.J.; Singh, D.; Bhadraray, S. (2006). Long-term manuring  
756 and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid  
757 sub-tropical India. *Soil and Tillage Research*, v. 88, n. 1-2, p. 180-192.  
758 <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2005.05.008>.  
759  
760 Sales, E. F.; Baldi, A.; Queiroz, R. B. (2018). Fauna edáfica em sistema agroflorestal e  
761 em monocultivo de café conilon. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 13:(5), p. 201.  
762 <https://doi.org/10.33240/rba.v13i5.22681>.  
763  
764 Santos, J. B.; Ramos, A. C.; Azevedo Junior, R.; Oliveira Filho, L. C. I.; Baretta, D.;  
765 Cardoso, E. J. B. N. (2018). Soil macrofauna in organic and conventional coffee  
766 plantations in Brazil. *Biota Neotropica*, 18:(2). [https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515)  
767 [2018-0515](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515).  
768  
769 Schaller, M.; Schroth, G.; Beer, J.; Jiménez, F. (2003). Species and site characteristics  
770 that permit the association of fast - growing trees with crops: the case of *Eucalyptus*  
771 *degulata* as coffee shade in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 175, 205-215.  
772  
773 Scheffer, M. (1991). Fish and nutrients interplay determines algal biomass: a minimal  
774 model. *Oikos*, 62:271-282.  
775  
776 Scoriza, R. N.; Silva, A. P.; Correia, M. E. F.; Leles, P. S. S.; Resende, A. S. (2015).  
777 Efeito de herbicidas sobre a biota de invertebrados do solo em área de restauração  
778 florestal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 39:(6), p. 1576-1584.  
779 <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150096>.  
780  
781 Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Denef, K. (2004). A history of research on the link  
782 between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and*  
783 *tillage research*, v. 79, n. 1, p. 7-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>.  
784  
785 Silva, D. C.; Pereira, J. M.; Ortiz, D. C.; Oliveira Filho, L. C. I.; Pinto, L.V.A. (2020).  
786 Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob  
787 cultivo do cafeeiro. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, 6:(3), p.14795-14816.  
788 <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-375>.  
789  
790 Silva, J.; Jucksch, I.; Tavares, R. C. (2012). Invertebrados edáficos em diferentes  
791 sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Brasileira de*  
792 *Agroecologia*, v.7, p.112-125.  
793  
794 Silva, R. F. da.; Guimarães, M. de F.; Aquino, A. M. de.; Mercante, F. M. (2011).  
795 Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração  
796 lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p.1277-1283.  
797 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000023>.  
798  
799 Teixeira, A. F. R., Silva, V. M., Mendonça, E. D. (2014). Fauna edáfica em sistemas  
800 arborizados de café conilon em solo de tabuleiros costeiros. *Coffee Science*, v. 9, n. 3, p.  
801 385-393.



802  
803 Tedesco, J. M., Volkweiss, S. J., Bohnen, H. (1995). Análises do solo, plantas e outros  
804 materiais. 1. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 188 p.  
805 (Boletim técnico).  
806  
807 Trentini, C. P.; Villagra, M.; Gomez Pamies, D.; Bernava Laborde, V.; Bedano, J. C.;  
808 Campanello, P. I. (2018). Effect of nitrogen addition and litter removal on understory  
809 vegetation, soil mesofauna, and litter decomposition in loblolly pine plantations in  
810 subtropical Argentina. *Forest Ecology and Management*, v. 429, p. 133-142.  
811 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.012>.  
812  
813 Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Oliveira, V. S.; Costa, Y. D. J.; Cavalcante,  
814 D. M. (2010). Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de  
815 tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-deaçúcar.  
816 *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.309- 316. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004)  
817 [06832010000200004](https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004).  
818  
819 Walker D. (1989). Diversity and stability. In: CHERRETT JM (Ed.), *Ecological*  
820 *concepts*, Oxford: Blackwell Scientific Public, p. 115-146.  
821  
822 Warren, M.W.; Zou, X. (2002). Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree  
823 plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, v. 170,  
824 n. 1-3, p. 161-171. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00770-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00770-8).  
825  
826  
827  
828  
829  
830  
831  
832  
833  
834  
835  
836  
837  
838  
839  
840  
841  
842  
843  
844  
845  
846  
847  
848  
849  
850

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho revelam que a organização e manejo de sistemas de cultivo de café condicionam mudanças nos estoques de carbono orgânico do solo e na mesofauna edáfica. A adoção de sistemas diversificados, como o consórcio de SAF de café com grevilea, proporciona substituição de C-C<sub>4</sub> por C-C<sub>3</sub> e maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . As diferenças nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais pronunciadas nas camadas mais superficiais do solo, havendo uma padronização em todos os sistemas a partir dos 40 cm de profundidade;

Em todos os sistemas, os maiores estoques de C e N do solo foram encontrados nas camadas superficiais, até 40 cm de profundidade, provavelmente pela forte contribuição de raízes e adição de resíduos;

O consórcio de café com banana mostra-se mais favorável à estabilização de C e N, embora a distribuição dos agregados do solo tenha sofrido pouca influência da composição do sistema de cultivo de café. Independentemente do sistema adotado, os macroagregados constituem o compartimento com maior capacidade de armazenamento de carbono e nitrogênio oclusos;

Dentre os sistemas estudados, o SAF foi o que mais favoreceu riqueza e ocorrência de organismos detritívoros/decompositores e predadores, pela maior disponibilidade de recursos e *microhabitats*;

A mesofauna edáfica não exerce efeito direto na agregação e estabilização de C e N. No entanto, a agregação refletiu um efeito positivo indireto do nitrogênio total.