

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**MUDANÇAS NO CARBONO E GLOMALINA DE AGREGADOS
BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ**

ERYCA PORTO DE OLIVEIRA SALES

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO – 2023**

ERYCA PORTO DE OLIVEIRA SALES

**MUDANÇAS NO CARBONO E GLOMALINA DE AGREGADOS
BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ**

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA– BRASIL
MAIO – 2023**

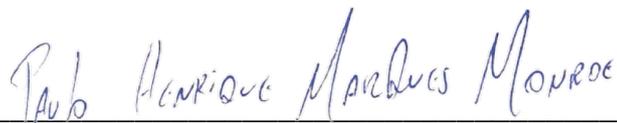
ERYCA PORTO DE OLIVEIRA SALES

**MUDANÇAS NO CARBONO E GLOMALINA DE AGREGADOS
BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ**

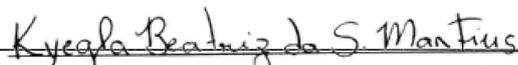
Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovada em 27 de maio de 2023

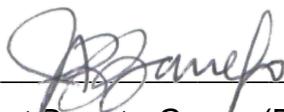
Comissão Examinadora:



Prof. Paulo Henrique Marques Monroe (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB



Kyegla Beatriz da Silva Martins (Mestranda, Ciências Florestais) – UESB



Prof^a Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB

Orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser a rocha que me sustenta, à Virgem de Fátima e aos meus Santos de devoção por tanto cuidado e amor.

Em especial, aos meus pais Durvalino e Dinacelma Sales, pelo incentivo, orações, apoio, amor, investimento e oferta de vida durante todos esses anos.

A toda minha família (tios, avós, primos e padrinhos) por se fazer presente em minha formação e por terem contribuído de forma direta e indireta em cada aprovação e etapa. Em particular, agradeço à minha avó, Senhorinha Porto, pelas suas orações e por cada feijão escaldado.

Aos meus irmãos do grupo Ruah, do Quinteto, da Pascom, da Obra Shalom e aos meus amigos pelas orações, pela amizade e pelo cuidado.

A todos os sacerdotes que me acompanharam em especial ao Padre Gilmar Soares (Canção Nova), por tantas vezes ter me acolhido e me aconselhado caridosamente.

Aos meus colegas de curso pela parceria e amizade ao longo de todos esses anos. Agradeço a todos do grupo Forest Soils, em especial a Kyegla, Talita e Lucas, que foram essenciais neste trabalho.

Ao meu coorientador, Paulo Henrique Marques Monroe, que com carinho sempre se dispôs a contribuir no meu processo de aprendizado.

A todos os professores, em especial a minha orientadora Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia, pela oportunidade de fazer parte do seu grupo de pesquisa e pela perseverança e dedicação.

Por fim, a todos que contribuíram para que este trabalho fosse possível.

"É justo que muito custe o que muito vale!" - Santa Teresa D'Ávila

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	11
SISTEMAS ESTUDADOS	12
AMOSTRAGEM DE SOLO	12
FRACIONAMENTO EM CLASSES DE AGREGADOS	13
CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA	13
RAÍZES FINAS	13
CARBONO ORGÂNICO E LÁBIL DO SOLO E AGREGADOS	14
EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE GLOMALINA	14
ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
RESULTADOS.....	15
DISCUSSÃO	18
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
DIRETRIZES PARA AUTORES.....	31

Trabalho monográfico escrito em forma de artigo científico seguindo as Normas da Revista **Scientia Forestalis**, as quais estão anexas.

MUDANÇAS NO CARBONO E GLOMALINA DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DO SOLO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E MONOCULTIVO DE CAFÉ

CHANGES IN CARBON AND GLOMALIN OF BIOGENIC AND PHYSIOGENIC SOIL AGGREGATES IN AGROFORESTRY SYSTEMS AND COFFEE MONOCULTURE

RESUMO: A glomalina, glicoproteína produzida pelos fungos micorrízicos arbusculares, tem sido alvo de estudos focados na sua contribuição para o carbono orgânico do solo em sistemas agrícolas. Apesar disso, ainda são escassos os estudos sobre o tema em sistemas de cultivo de café, especialmente envolvendo a origem da formação dos agregados. Neste trabalho, objetivou-se responder as seguintes questões: os sistemas agroflorestais e monocultivo de café influenciam a origem de formação dos agregados? Como essa influência se reflete nos níveis de carbono orgânico e glomalina dos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo. Para isso, foram avaliados três sistemas de cultivo de café (SAFG – sistema agroflorestal de café com grevilea, SAFC – sistema agroflorestal de café com cedro e CM – monocultivo de café), e uma floresta nativa, utilizada como referência, no município de Barra do Choça, Bahia. Em cada sistema, foram delimitadas quatro parcelas, nas quais foram coletadas amostras de solo e realizado o fracionamento seco para obtenção das classes de agregados: >6, 6-4, 4-2 e <2mm. Os agregados >6mm foram classificados morfológicamente em agregados biogênicos, fisiogênicos e intermediários. Determinou-se os teores de carbono orgânico total, e carbono lábil do solo e das classes morfológicas, e de glomalina das classes morfológicas. A composição dos sistemas de cultivo de café não influenciou a origem de formação dos agregados, mantendo a predominância dos agregados biogênicos. O SAFG mostra-se mais favorável à manutenção dos teores de carbono orgânico e glomalina dos agregados biogênicos e fisiogênicos, enquanto o SAFC e CM promovem redução.

Palavras-chave: classes de agregados, classes morfológicas, cafeicultura; matéria orgânica do solo; proteção física; carbono lábil.

ABSTRACT: Glomalin, a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, has been the subject of studies focused on its contribution to soil organic carbon in agricultural systems. However, studies on this topic in coffee cultivation systems, particularly regarding the origin of aggregate formation, are still scarce. This study aimed to answer the following questions: Do agroforestry systems and coffee monoculture influence the origin of aggregate formation? How does this influence reflect on the levels of organic carbon and glomalin in biogenic and physiogenic soil aggregates? To address these questions, three coffee cultivation systems (SAFG - coffee agroforestry system with grevillea, SAFC - coffee agroforestry system with cedar, CM - coffee monoculture) were evaluated, with a native forest used as a reference, in the municipality of Barra do Choça, Bahia. In each system, four plots were delimited, from which soil samples were collected and subjected to dry fractionation to obtain the aggregate size classes: >6, 6-4, 4-2, and <2mm. The >6mm aggregates were morphologically classified as biogenic, physiogenic, or intermediate aggregates. Total organic carbon content, labile carbon content of the soil and morphological classes, and glomalin content of the morphological classes were determined. The composition of the coffee cultivation systems did not influence the origin of aggregate formation, with biogenic aggregates remaining predominant. The SAFG system showed more favorable conditions for maintaining organic carbon and glomalin levels in biogenic and physiogenic aggregates, while the SAFC and CM systems promoted a reduction

Keywords : aggregate size class, morphological classes, coffee plantation, soil organic matter, physical protection, labile carbon.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma importante atividade agrícola no Brasil, sendo responsável por 8,2% do valor bruto da produção nacional (EMBRAPA, 2022). O país é responsável por um terço da produção mundial de café, além de ser o segundo maior consumidor da bebida (ABIC, 2022). No estado da Bahia, a produção de café abrange 11% da área total, com uma produtividade de 57,9 sacas/ha, superior aos estados de Rondônia e Espírito Santo (CONAB,2023).

A maior parte das áreas de cultivo de café no Brasil adota o sistema de cultivo a pleno sol (monocultivo). Embora em menor proporção, o cultivo de café em sistema agroflorestal (SAF) também é uma prática comumente adotada. Os SAFs permitem um uso mais racional da terra, pois a presença do componente arbóreo aumenta a cobertura do solo e as entradas de resíduos vegetais, tanto pela deposição de serapilheira quanto pelo *turnover* de raízes. Isso proporciona diversos benefícios, como a diminuição na utilização de fertilizantes pela otimização da ciclagem de nutrientes, e o aumento do sequestro de C no solo (ABDO et al., 2008; GOMES et al.,2021; ALVES et al., 2021;FERREIRA et al.,2021), influenciando positivamente a agregação do solo e, conseqüentemente, a sua estrutura física (LAL, 2004; FERREIRA et al.,2017; SANTOS et al.,2020;CARNEIRO et al.,2020).

A agregação do solo possibilita a formação de estruturas complexas, que resultam da união entre as partículas minerais e a matéria orgânica do solo, na presença das cargas elétricas dos colóides, de agentes cimentantes e da ação microbiana do solo (TISDALL & OADES, 1982). Por essa razão, os agregados do solo estão fortemente relacionados com outros atributos edáficos, com destaque para o carbono orgânico do solo (COS).

A proteção física do COS no interior dos agregados constitui um dos principais mecanismos de estabilização do C no solo, atuando como uma barreira à decomposição microbiana (CHRISTENSEN,1996; MONROE et al,2022). Diversos fatores influenciam a agregação do solo, como a presença de agentes bióticos, como organismos, raízes, exsudatos radiculares, e abióticos, como alterações de umidade (SIX et al., 2004). Assim, a formação de agregados no solo pode ter diferentes origens, sendo estas biogênica e fisiogênica. A via biogênica diz respeito a formação de agregados pela participação da fauna , microorganismos do solo e/ou raízes de plantas. Por outro lado, a via fisiogênica forma agregados pela influência de fatores químicos, bem como ciclos de umedecimento e secagem que constituem via lenta de formação (BATISTA,2011; ROSSI et al,2016; SILVA et al.,2020).

A glomalina, glicoproteína produzida pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), também é considerada um importante agente biótico na formação e estabilização dos agregados do solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996; RILLIG, 2004; EMRAN et al. 2012; GISPERT et al. 2012 GIANFREDA et al.,2019). Essa glicoproteína protege as hifas dos fungos contra a dessecação e se acumula no solo

após o processo de decomposição dessas hifas por microrganismos edáficos (RILLIG et al., 2002; SILVA et al., 2010). Ou seja, a glomalina atua como um agente de estabilização, ligando as partículas do solo e promovendo a formação de complexos organo-mineral. Por essa razão, a presença desta glicoproteína no solo está associada à melhoria dos atributos edáficos, incluindo a estabilização da estrutura física e estabilização do C no solo (WU et al.,2014; ZOU et al.,2014; HE et al.,2020). A glomalina apresenta relação positiva, com o COS, podendo ser responsável por 5 a 10% do seu estoque no solo (FOKOM et al.,2012; SINGH et al.,2017; SANTOS et al., 2018).

Estudos recentes indicam que a glomalina tem a capacidade de estabilizar o carbono orgânico no solo por mais tempo, quando comparada com a lignina, ácidos húmicos e fúlvicos, o que pode contribuir significativamente para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade de sistemas agrícolas (CARVALHO, 2015). Nesse sentido, a glomalina tem sido objeto de estudos focados na avaliação da sua contribuição para o armazenamento de carbono orgânico em solos sob diferentes sistemas agrícolas (SINGH & SINGH, 2016; SINGH et al., 2017; MACÊDO et al.,2019; NAUTIYAL et al., 2019; HE et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Apesar disso, ainda são escassos os estudos em sistemas de cultivo de café (MACÊDO et al., 2019), bem como aqueles que envolvem a relação entre as vias de formação dos agregados e o armazenamento de glomalina e de carbono orgânico no solo(JIN et al.,2016).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou responder as seguintes questões: (1) os sistemas agroflorestais e monocultivo de café influenciam as vias de formação dos agregados? (2) Como essa influência se reflete nos níveis de carbono orgânico e glomalina dos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo. Para isso, foram avaliadas as entradas de resíduos vegetais (serapilheira e raízes), a distribuição dos agregados em classes morfológicas e os teores de carbono e de glomalina dos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo em três sistemas de cultivo de café (dois sistemas agroflorestais e um monocultivo), utilizando como referência uma floresta nativa. Assumiu-se as seguintes hipóteses: (1) os sistemas agroflorestais de café são mais favoráveis à formação de agregados biogênicos e ao aumento dos seus teores de carbono e glomalina do que o monocultivo de café, devido à maior diversidade de espécies vegetais e a presença de árvores, que

incrementam as entradas de resíduos orgânicos; (2) Os agregados biogênicos do solo apresentam maiores teores de carbono e glomalina em comparação aos agregados fisiogênicos, devido ao seu maior estoque de matéria orgânica e maior atividade microbiana.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Vidigal, situada à 903 m de altitude, no município de Barra do Choça, estado da Bahia, Brasil (coordenadas geográficas: 14°55'26,5" S de latitude e 40°36'43,5" O de longitude). O município é considerado o principal produtor de café do estado e possui grande intensidade na cafeicultura familiar, que é comumente associada com outras culturas, tais como cedro, grevilea, banana e mandioca (DUTRA NETO, 2001).

O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwb), de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 23°C e a precipitação anual é de aproximadamente 800mm (IBGE, 2023).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos et al., 2018), apresentando caracterização química e granulométrica conforme Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização química e granulométrica do solo (0-10 cm) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.

Sistemas	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	M	Areia	Silte	Argila
	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³					%			g kg ⁻¹			
CM	5.2	9.75	0.55	1.54	1.15	0.85	10.95	4.10	4.95	25.75	17.50	435	95	470
SAF C	5.5	5.50	0.36	1.77	1.17	0.35	7.25	4.70	5.05	38.25	7.00	495	150	440
SAF G	5.1	11.35	0.25	1.62	1.10	0.95	11.25	4.07	5.02	25.00	20.25	450	120	430
FN	4.3	1.00	0.12	0.73	0.50	3.52	18.75	1.15	4.67	5.00	75.25	425	95	480

CM – café em sistema de monocultivo, SAF C – sistemas agroflorestal de café com *Toona ciliata*, FN - floresta nativa, SAF G – sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta*; H+Al – acidez potencial; SB; soma de bases; T – CTC efetiva; V – saturação por bases da CTC a pH 7,0; m – saturação por Al; Valores médios obtidos

a partir de quatro repetições em cada sistema de cultivo. Análises realizadas de acordo com Teixeira et al. (2017) fósforo (P) e potássio (K) extraíveis por Mehlich⁻¹; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹. Fonte: BASTOS (2021)

Sistemas estudados

Foram avaliados três sistemas de cultivo de café e uma área de vegetação nativa: (1) SAFG – sistema agroflorestal de *Coffea arabica* L. var. Catucaí vermelho com *Grevillea robusta* A., implantado no ano 2000 em uma área de 13,5 ha, com espaçamento 12,0 x 3,0 m (entre árvores) e 2,0 x 0,5 m (entre cafeeiros); (2) SAFC – sistema agroflorestal de *Coffea arabica* L. var. Catucaí amarelo com *Toona ciliata* M. Roem, implantado no ano 2014 em uma área de 34 ha, com distribuição de uma linha de cedro intercalada a cada 5 linhas de café, em espaçamento 18,0 x 3,0 m (entre árvores) e 3,0 x 0,5 m (entre cafeeiros) (3) CM – *Coffea arabica* var. Catucaí amarelo em sistema de monocultivo, implantado em 2006 em uma área de 24 ha, em espaçamento 2,0 x 0,5 m; e (4) FN – floresta nativa, localizada nas proximidades dos plantios de café, com área de 10 ha e vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana. A floresta está a cerca de 20 anos sem interferência antrópica, possuindo estrato arbóreo entre 10 e 15 m de altura e predominância dos gêneros *Parapiptadenia* e *Anadenanthera* (IBGE, 2012).

Os SAFs e monocultivo foram implantados após a limpeza da área. Foi realizada adubação de plantio localizada na cova (300g de superfosfato simples e 50g de cloreto de potássio) e adubações de manutenção até o ano 2018 (200 g de uréia, dividida em quatro aplicações no ano). O sistema de colheita adotado é mecanizado e a irrigação de todos os sistemas de café é realizada por gotejamento duas vezes por semana. Os tratos culturais são realizados duas vezes ao ano, por meio de capina, com uso de enxada e aplicação de herbicidas.

Amostragem de solo

A amostragem de solo foi realizada em setembro de 2022. Em cada sistema, foram delimitadas aleatoriamente quatro parcelas de 20 x 20 m, garantindo uma distância mínima de 10 metros entre estas. Em cada parcela, foi coletado

aleatoriamente um monólito de solo com dimensões de 10 x 10 cm, retirando-se todo o solo contido na profundidade de 0-10 cm, totalizando quatro monólitos por sistema. No caso particular dos sistemas agroflorestais, os monólitos foram coletados na entrelinha entre o café e o componente arbóreo.

Fracionamento em classes de agregados

As amostras (todo solo de cada monólito – cerca de 700g) foram submetidas a um fracionamento em campo, utilizando um conjunto de peneiras de malhas de 6,0, 4,0 e 2,0 mm. O peneiramento foi realizado de forma manual, com agitação (movimentos circulares de cima para baixo com amplitude de aproximadamente 4 cm) por um minuto. Assim, foram obtidas quatro frações de agregados: maior do que 6 mm ($> 6,0$ mm), entre 6 e 4 mm (6,0 – 4,0 mm), entre 4 e 2 mm (4,0 – 2,0 mm) e menor do que 2 mm ($< 2,0$ mm). As frações foram secas ao ar durante um período de 48 horas e pesadas para o cálculo da porcentagem relativa.

Classificação morfológica

A classificação morfológica dos agregados foi realizada na fração de maior tamanho (> 6 mm). Para isso, utilizou-se 200 g das amostras secas ao ar. Os agregados presentes nessa massa foram avaliados sob lupa binocular e classificados em agregados biogênicos, fisiogênicos e intermediários, conforme descrito por Bullock et al. (1985). Assim, a separação foi baseada nos padrões morfológicos de cada agregado: agregados biogênicos – formas arredondadas, resultantes da passagem pelo trato intestinal da macrofauna (em especial das minhocas – Oligochaetas) e/ou presença de raízes; agregados fisiogênicos – formas angulares; e agregados intermediários – forma indefinida, indicativa de que podem ter passado pela via biogênica de formação, porém tiveram perda da forma arredondada pelo envelhecimento ou pela via fisiogênica (PULLMAN et al.,2005; PINTO et al.,2021). Após classificação, os agregados foram pesados e a contribuição percentual de cada fração para o peso total da amostra foi determinado.

Raízes finas

A quantificação de raízes finas foi realizada na classe morfológica biogênica, utilizando 100 g de solo. Para isso, as amostras foram destorroadas manualmente e

lavadas com água corrente com auxílio de uma peneira de 2 mm e de 0,250 mm. Após isso, as raízes foram separadas, secas em estufa de circulação forçada de ar (a 65°C, por 48 h) e pesadas. Obteve-se, assim, a massa de raízes em 100 g de solo, que foi então convertida para g de raiz por kg de solo (g kg^{-1}).

Carbono orgânico e lábil do solo e agregados

As amostras de solo não fracionado e das frações morfológicas dos agregados (todas secas ao ar) foram destorroadas com auxílio do crisol, passadas em peneira de malha de 0,250 mm e submetidas à análise química para determinação dos teores de carbono orgânico do solo (COS) pelo método da oxidação úmida com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio ácido (Yeomans and Bremner, 1988) e de carbono lábil (CL) pelo método de Blair et al. (1995), com adaptação de Shang e Tiessen (1997), empregando permanganato de potássio (KMnO_4) $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ como oxidante (agregados biogênicos). A partir dos valores obtidos foi calculada a relação CL/COS.

Extração e quantificação de glomalina

A extração de glomalina foi realizada nas amostras de solo das duas principais classes morfológicas dos agregados (agregados biogênicos e fisiogênicos) de todos sistemas estudados, exceto a classe fisiogênica do monocultivo de café, uma vez não houve material suficiente para análise.

As frações da glomalina foram quantificadas como proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) e total (PSRG-T), diferenciadas em razão das condições de extração (WRIGHT e UPDAHAYAYA, 1998; RILLIG, 2014). A proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível foi obtida por meio da extração em autoclave, utilizando 1 g de solo e 8 ml de solução de citrato de sódio 20 mM L^{-1} a um pH de 7,0 e a 121°C por um período de 30 minutos. A proteína do solo relacionada à glomalina total foi obtida nas mesmas proporções da anterior; no entanto, o extrator utilizado teve concentração de 50 mM L^{-1} a um pH de 8,0 e a 121°C por 60 minutos. Para extração dessa última fração, foram necessários mais de um ciclo de autoclavagem (cinco a 10 ciclos, dependendo da amostra), até que a amostra atingisse a cor amarela-clara. Em ambas as frações, após a autoclavagem, foi realizada centrifugação a 5.000 rpm por

cinco minutos sendo o sobrenadante removido para posterior quantificação da proteína.

A quantificação da glomalina foi realizada pelo método Bradford (1976), modificada por Wright et al. (1996), usando como padrão albumina de soro de bovino(BSA). Em seguida, foi realizada a curva padrão (0, 25, 50, 75 e 100 μg) para determinar a equação. As concentrações das duas frações de glomalina foram determinadas por meio de leitura da absorbância em espectrofotômetro a 595nm. Após esta etapa, as concentrações foram convertidas para mg g^{-1} de solo, considerando-se o volume total de sobrenadante e a massa seca do solo, conforme equação a seguir:

$$\text{PSRG (mg g}^{-1}\text{)} = [\text{QP} \div \text{VP} \times \text{E} \div \text{MS}] \div 1.000$$

Em que: PSRG – proteína do solo relacionado a glomalina facilmente extraível ou total; QP - quantidade de proteína por poço (em μg); VP – volume da amostra por poço (em μL); E – quantidade total de extrato (em μg); MS – massa de solo (em g).

Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto à homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) e normalidade (teste de Lilliefors). Após constatar dados paramétricos, os mesmos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) segundo um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Quando o teste F foi significativo ($\alpha = 0,05$), foram realizadas comparações múltiplas das médias pelo teste de Fisher a 5% de significância. As análises foram realizadas empregando-se o programa STATISTICA® V.10.0 (STATSOFT,1974-2009). Para elaboração dos gráficos foi utilizado o SIGMAPLOT®V.12.0 (SYSTAT,2010) software.

RESULTADOS

Os teores de carbono orgânico do solo (COS) apresentaram variações significativas entre os sistemas de café e destes em relação a floresta nativa (Figura 1). O SAFG foi o único sistema que não apresentou diminuição do COS em relação à floresta nativa. Já no SAFC e no MC, observou-se reduções do COS correspondentes a 28,4% e 9,9 % respectivamente.

Os teores de carbono lábil do solo (CL) apresentaram variações significativas entre os sistemas de café, porém não mostraram diferenças destes em relação à floresta nativa (Figura 1). O sistema SAFG foi superior ao SAFC e CM. Por sua vez, a massa de raízes finas não mostrou diferenças entre os sistemas estudados.

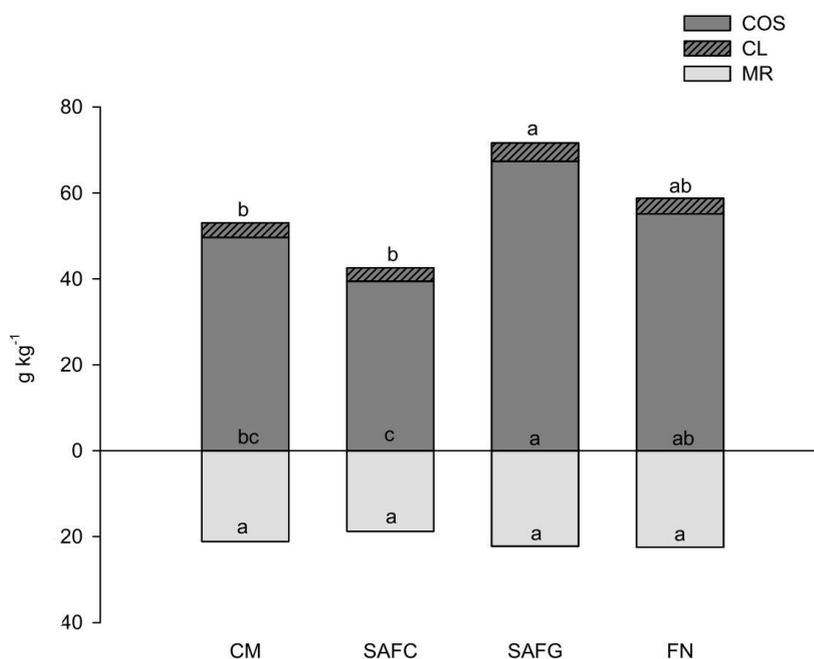


Figura 1: Teores de carbono lábil (CL), carbono orgânico do solo (COS = CL+CNL) e massa de raízes finas (MR) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa. Em que: CM – Café em sistema de monocultivo, SAFC – sistemas agroflorestal de café com *Toona ciliata*, FN – floresta nativa, SAFG – sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta*. Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

O SAFC teve maior porcentagem de agregados > 6 mm do que o CM, SAFG e FN, os quais não diferiram entre si (Tabela 2). Por outro lado, para as frações 6-4 e 4-2 mm foi o monocultivo que se destacou, se assemelhando(4 – 2 mm) ou até superando (6 – 4 mm) a FN. Para a fração <2 mm, apenas o SAFG não se diferenciou da FN, com valores superiores ao monocultivo e SAFC.

Tabela 2: Massa relativa das classes de tamanho e morfológicas dos agregados (%) em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.

Sistemas	Classes de tamanho (%)				Classes morfológicas (%)		
	>6 mm	6 – 4 mm	4 – 2 mm	< 2 mm	Bio	Fisio	Inter
CM	20,60 b	29,23 a	39,75 a	10,39 b	96,95 a	0,91 a	1,59 a
SAFC	57,75 a	17,03 b	18,67 b	6,56 b	94,13 a	2,76 a	2,40 a
SAFG	27,10 b	20,51 b	26,12 b	26,28 a	95,77 a	3,48 a	1,42 a
FN	20,17 b	19,86 b	30,35 ab	29,61 a	95,61 a	2,54 a	1,45 a

CM – café em sistema de monocultivo, SAFC – sistemas agroflorestal de café com *Toona ciliata*, FN - floresta nativa, SAFG – sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta*, Bio – agregados biogênicos; Fisio – agregados fisiogênicos; Inter – agregados intermediários. Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância

Os agregados biogênicos foram a classe morfológica predominante e sua participação relativa não mostrou diferenças entre os sistemas estudados, representando 94 a 97% da massa total de agregados (Tabela 2). De forma semelhante, a participação relativa dos agregados fisiogênicos (0,91 a 3,48%) e intermediários (1,42 e 2,40%) também não variou entre os sistemas de café e a floresta nativa (Tabela 2).

Por outro lado, os teores de carbono de todas as classes morfológicas variaram entre os sistemas. Os agregados biogênicos apresentaram maiores teores de C no SAFG e FN, embora este último não tenha se distinguido do SAFC. A classe fisiogênica mostrou diminuição dos teores de C em todos os sistemas de café, quando comparados a floresta nativa (Tabela 3), o que representou reduções de 21,33% no SAFG, 48,59% no CM e 64,59% SAFC. Os teores de C dos agregados intermediários, por sua vez, mostraram redução apenas no SAFC (49,90%) em relação a FN.

Ademais, os teores de carbono lábil da classe biogênica também variaram entre os sistemas estudados. Os maiores valores de CL foram encontrados no SAFG, que não apresentou redução em relação à FN, assim como o CM (Tabela 3). Já o SAFC apresentou uma redução de 49,58% em relação à FN.

Tabela 3: Teores de carbono orgânico (g kg^{-1}) e proteína do solo relacionada à glomalina total e facilmente extraível (mg g^{-1}) das classes morfológicas dos agregados em três sistemas de cultivo de café e floresta nativa.

Sistema	Carbono			CL	PSRG-T		PSRG-FE	
	Bio	Fisio	Inter	Bio	Bio	Fisio	Bio	Fisio
CM	37,64 c	34,65 c	36,60 ab	2,69 cb	26,65 bc		4,05 b	
SAFC	37,11 bc	23,89 c	24,24 b	1,78 c	18,68 c	19,55 b	3,99 b	3,94 b
SAFG	57,26 a	53,10 b	50,87 a	3,85 a	36,05 ab	31,32 ab	6,18 a	5,85 ab
FN	50,22 ab	67,53 a	48,28 a	3,59 ba	40,08 a	43,06 a	5,19 ab	8,60 a

CM – Café em sistema de monocultivo, SAFC – sistemas agroflorestal de café com *Toona ciliata*, FN - floresta nativa, SAFG – sistema agroflorestal de café com *Grevillea robusta*, CL – carbono lábil; PSRG-T – glomalina total; PSRG-FE – glomalina facilmente extraível. Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de significância.

Os teores de glomalina total (PSRG-T) dos agregados biogênicos foram inferiores no CM e SAFC e superior no SAFG e FN em relação ao SAFC (Tabela 3). Os teores de glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) dessa mesma classe morfológica também mostrou superioridade do SAFG em relação aos demais sistemas de café, sem diferenciação em relação a floresta nativa.

Os teores de glomalina total e facilmente extraível da classe fisiogênica mostraram padrão de variação semelhante a classe biogênica (Tabela 3), com maiores resultados na FN, que não se distinguiu do SAFG, enquanto o SAFC apresentou redução de 45,40% (PSRG-T) e 45,81% (PSRG-FE).

DISCUSSÃO

Os maiores teores de COS observados no SAFG entre os sistemas de café, sem redução em relação a FN, podem ser justificados pelas maiores entradas de resíduos orgânicos nesse sistema, tanto pela parte aérea quanto pelas raízes das árvores de grevilea, quando comparado ao SAFC e CM. Essa explicação está em consonância com os resultados de Bastos (2021), que, ao estudar as mesmas áreas experimentais deste estudo, observou que o SAFG foi o sistema de café com maiores acúmulos de serapilheira e maior participação de raízes finas, se aproximando mais da condição da floresta nativa. Esse mesmo autor observou

menores acúmulos de serapilheira no CM e SAFC e atribuiu a semelhança entre estes sistemas ao amplo espaçamento entre as linhas de cedro (18 m), que aproxima o SAFC da condição do monocultivo. Esses resultados corroboram com os de Nair et al. (2015) que verificaram maior acúmulo de carbono orgânico no solo em sistema agroflorestal com cafeicultura e *Grevillea robusta* quando comparado ao monocultivo de café.

Essa variação dos teores de carbono orgânico também pode estar relacionada à natureza dos resíduos vegetais aportados pelos diferentes sistemas estudados, uma vez que resíduos com maior relação C/N implicam em maior tempo para decomposição e incorporação do carbono orgânico no solo (MAIA et al., 2018). Nesse sentido, Bastos (2021) observou que a serapilheira do SAFC e CM apresentou teores de nitrogênio inferiores ao SAFG e FN. Isso sugere que esses sistemas apresentam serapilheira com maior resistência à decomposição e, como consequência, uma menor taxa de incorporação de C no solo.

A ausência de variação da massa de raízes pode ser explicada pelo fato de que todos os sistemas estudados são compostos apenas por espécies perenes, que geralmente apresentam uma grande densidade de raízes em seus sistemas radiculares (SANTOS et al., 2014).

Os maiores teores de carbono lábil no SAFG podem ser justificados pela presença da *Grevillea robusta*, uma espécie arbórea fixadora de nitrogênio, que estaria incrementando as entradas desse elemento e, como consequência, favorecendo a disponibilidade de C lábil. De acordo com Oliveira et al. (2020), a adição de resíduos vegetais ricos em nitrogênio pode aumentar em cerca de 30% os teores de carbono lábil do solo.

Segundo Cardoso et al (2013), o teor de carbono lábil em sistemas agroflorestais de café aumenta proporcionalmente ao desenvolvimento do sistema, indicando melhoria na qualidade do solo devido ao aumento do acúmulo de material orgânico proveniente das espécies.

A ausência de redução da proporção de agregados maiores (> 6 mm) em todos os sistemas de cultivo indica que a cafeicultura promove uma manutenção da estrutura do solo e do *turnover* de agregados. Isso deve estar relacionado ao fato do café ser uma cultura perene, assim como as espécies arbóreas que são comuns em sistemas agroflorestais (BALOTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2019a) e que,

portanto, promovem o aporte contínuo de resíduos vegetais e ausência de revolvimento do solo. Essas espécies perenes possuem raízes e sistemas radiculares mais desenvolvidos, o que proporciona um aumento da estabilidade do solo e da formação de agregados (SOUZA et al.,2020). Além disso, a serapilheira proveniente das árvores e dos restos de poda do café, contribui para a manutenção dessa estrutura (SANTOS et al.,2020). Isso também explica a maior proporção de agregados 6-4 e 4-2 mm no CM, de forma semelhante a FN.

Adicionalmente, a maior proporção dos agregados > 6 mm no SAFC em relação a FN indica que outros fatores estão regulando o processo de formação de agregados nesse sistema, como ciclos de umedecimento e secagem, já que as árvores desse sistema estão presentes em menor densidade que as árvores do SAFG, promovendo menor cobertura e maior exposição do solo à influência de fatores ambientais

A semelhança da proporção de agregados <2 mm entre o SAFG e a FN, indica que a presença da espécie arbórea *Grevillea robusta* estaria favorecendo a manutenção da formação de agregados de menor tamanho pelas maiores entradas de resíduos orgânicos, conforme mencionado anteriormente, e pela influência do sistema radicular. Monroe et al. (2021) observaram uma grande contribuição de raízes finas na camada superficial de SAFs de café com *Grevillea robusta*. As espécies arbóreas em sistemas agroflorestais podem contribuir para a agregação do solo, através do desenvolvimento do sistema radicular e do acúmulo de serapilheira proveniente das árvores e dos restos de poda do café (OLIVEIRA et al., 2019).

A dominância dos agregados biogênicos em todos os sistemas estudados está de acordo com outros estudos que também encontraram maior proporção de agregados biogênicos em sistemas agroflorestais (TORRES et al., 2016; SILVA et al., 2019). Por outro lado, a ausência de variação da participação relativa de todas as classes morfológicas indica que a cafeicultura não afeta as vias de formação de agregados.

O maior teor de carbono da classe biogênica no SAFG também pode ser explicado pela presença da *Grevillea robusta*, que pode contribuir para o aumento das taxas de incorporação de matéria orgânica no solo, conforme discutido anteriormente. Esse aumento pode influenciar diretamente o teor de carbono da classe biogênica, uma vez que essa via de formação resulta da atuação de

organismos edáficos na presença de matéria orgânica, que então se une às partículas do solo (TISDALL & OADES, 1982). Segundo Schultz et al. (2019), a quantidade de matéria orgânica e sombreamento fornecido pelas árvores contribui positivamente para a atividade da fauna do solo, permitindo a formação dos agregados biogênicos, bem como sua estabilização.

O carbono presente nos agregados biogênicos é considerado mais estável e menos suscetível à decomposição do que os fisiogênicos (BALESDENT et al., 2000), o que sugere que o COS do SAFG apresenta maior estabilidade quando comparado aos outros cultivos de café. Esse resultado está de acordo com outros estudos que também encontraram maiores teores de carbono em sistemas agroflorestais em comparação com sistemas convencionais, como o monocultivo (PEREIRA et al., 2015; MELO et al., 2018).

O padrão de variação dos teores de carbono lábil da classe biogênica, também com maior valor no SAFG e sem redução em relação a FN, ratifica os argumentos apresentados acima. Estes resultados são corroborados pelos de Oliveira et al. (2019c), que observaram aumento de cerca de 95% nos teores de CL em sistemas agroflorestais em comparação à sistemas de monocultivo.

A redução do teores de C dos agregados fisiogênicos em todos os sistemas de café, em relação a FN, denota que a cafeicultura interferiu negativamente no armazenamento de carbono em agregados formados pela atuação de fatores abióticos. A superioridade da FN é explicada pelas condições encontradas no ambiente de vegetação nativa, como a presença de maior quantidade e diversidade de raízes e restos vegetais e a menor perturbação do solo, que são mais favoráveis aos processos físicos de formação de agregados (BALESDENTE et al.,2000) e, conseqüentemente, ao armazenamento de carbono nesses agregados.

Por sua vez, a diminuição dos agregados intermediários pode indicar uma redução dos níveis de matéria orgânica do solo (BHATTACHARYYA et al.,2017), o que está em concordância com os menores teores de COS encontrados no SAFC.

A redução dos teores de PSRG-FE (no SAFC e CM) e de PSRG-T (no SAFC) dos agregados biogênicos, quando comparados a FN pode estar relacionada a uma menor diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (PURIN & RILLIG, 2007), uma vez que a produção dessa glicoproteína varia entre as espécies de FMAs (WRIGHT et al., 1996; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; WRIGHT &

UPADHYAYA, 1999; LOVELOCK et al., 2004). Esses resultados corroboram com estudos anteriores que encontraram uma relação positiva entre a concentração de glomalina total no solo e a presença de vegetação nativa (OLIVEIRA et al., 2014; GONÇALVES et al., 2015; SILVA et al., 2018; MOTA et al., 2019) e de espécies fixadoras de N (COSTA et al., 2018; SARIGOL & BOLAT, 2018). A atividade da fauna e microrganismos do solo também ajuda a explicar os maiores teores de PSRG, uma vez que contribui para uma maior decomposição das hifas de FMAs e, conseqüentemente, para a deposição de glomalina no solo (SILVA et al., 2014). Corroborando essa explicação, Bastos (2021) observou menor atividade microbiana no SAFC e CM, e maior no SAFG e FN.

Os teores mais expressivos de glomalina, especialmente de PSRG-FE, na classe biogênica do SAFG deve ter relação com o maior aporte de matéria orgânica mais rica em N, uma vez que a glomalina facilmente extraível é mais suscetível à decomposição microbiana e pode ser influenciada pela quantidade e qualidade da matéria orgânica presente no solo (LIAO et al., 2016). Esse resultado também pode estar relacionado à presença de raízes e restos vegetais na camada superficial do solo devido a presença da *Grevillea robusta*, que incrementa as entradas de resíduos vegetais via serapilheira e raízes, conforme discutido anteriormente, o que favorece a produção de glomalina (SOUZA et al., 2019). Maiores teores de glomalina pode indicar um solo mais estruturado e com maior capacidade de retenção de nutrientes (RILLIG et al., 2019). Assim, os maiores teores de glomalina observados no SAFG evidencia que esse sistema pode ter implicações positivas para a produtividade e sustentabilidade de cultivos de café.

CONCLUSÕES

A composição dos sistemas de cultivo de café não influencia as vias de formação dos agregados, mantendo a predominância dos agregados biogênicos, de forma semelhante à floresta nativa. Apesar disso, o sistema agroflorestal de café com grevilea mostra-se mais favorável à manutenção dos teores de carbono orgânico e glomalina dos agregados biogênicos e fisiogênicos, se aproximando da floresta nativa, enquanto o sistema agroflorestal de café com cedro e o monocultivo promovem redução.

REFERÊNCIAS

- ABDO, M. S. M. et al.(2008) Soil microbial biomass and soil microbial activity in conventional and organic farming systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 51, n. 4, p. 865-873.
- AGUIAR, C. F., Oliveira, T. S., Souza, G. S., & Souza, J. M. (2015). Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais com cedro no município de Lavras, MG. *Revista Árvore*, 39(3), 503-511.
- ALMEIDA, B. G., Guimarães, M. F., Ferreira, P. A. A., & Santos, E. J. (2018). Soil physical quality indicators in coffee plantations under different management systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(7), 469–474.
- ALMEIDA, D. L., Santos, J. Z. L., Siqueira, D. S., Souza, L. C., & Leles, P. S. S. (2018). Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agroflorestais com café e cedro. *Ciência Florestal*, 28(1), 190-200.
- ALVES, J. D., DE LIMA, H. V., MARTINS, S. G., DO NASCIMENTO, M. G., FARIA, D. M., & DE QUEIROZ, J. A. (2021). Agroforestry systems and natural regeneration of Caatinga species: effects on soil organic matter fractions and carbon management index. *Agroforestry Systems*, 95(4), 1595-1607.
- ARAÚJO, E. A., Barros, N. F., & Novais, R. F. (2012). Qualidade do solo: conceitos indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 5(1), 187-206.
- BADEJO, M. A., & Oladele, S. O. (2019). Glomalin-related soil protein (GRSP) and its potential as a soil quality indicator: a review. *Advances in Agronomy*, 157, 1-57. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.03.002>
- BALOTA, E. L., et alColozzi Filho, A., Andrade, D. S., & Dick, R. P. (2013). Long-term soil tillage and crop rotation effects on organic carbon and nitrogen fractions and microbial biomass in a subtropical Acrisol. *Biology and Fertility of Soils*, 49(8), 941-951.
- BARRETO, P. A. B., Pereira, M. G., Figueira, R. C. L., & Pereira, J. C. D. (2020). Glomalin in soil aggregates under different forest and pasture systems in the North of Rio de Janeiro state, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 198, 104533
- BARTZ, M. L. C., CASSOL, E. A., AMARAL, A. G. et al.(2015) Estabilidade estrutural do solo em áreas de monocultivo de eucalipto e pinus no Sul do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, p. 859-868.
- BASTOS, R. C., Debastiani, A., & Stürmer, S. L. (2018). Ecologia do solo: conceitos e aplicações. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, e0170068.

- BASTOS, T. R. S.. (2021). Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas agroflorestais e monocultivo de café. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração manejo e produção florestal) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.
- BATISTA, I. (2013). Caracterização dos agregados em solo sob cultivo no Cerrado, MS. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.34, n.4, p. 1535-1548.
- BAYER, C. et al. (2011). Estabilização do carbon no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos Ci.Solo, N.7, p. 55-118.
- BHATTACHARYYA, R., SARKAR, D., PAL, D. K., & CHANDRAN, P. (2017). Influence of land use and management on soil aggregate stability: A review. Land Degradation & Development, v. 28, n. 3, p. 328-350.
- BOLINDER, M. A., Angers, D. A., Giroux, M., & Laverdière, M. R. (1999). Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). Plant Soil, 215, 85-91.
- BRADFORD, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2), 248-254.
- CAMPANHA, M. M. (2004). Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. Agroforestry Systems, 63, 75-82.
- CARDOSO, I. M., Marques, D. M., Siqueira Neto, M., Alves, B. J. R., & Urquiaga, S. (2013). Frações lábeis do carbono do solo em sistemas agroflorestais com cafeeiro em diferentes estádios de desenvolvimento. Coffee Science, 8(1), 48-56.
- CARNEIRO, R. F. V., Araújo, A. S. F., Santos, H. G., Souza, E. D., & Lopes, R. M. (2020). Agregação e estabilidade de agregados em sistemas agroflorestais no Nordeste do Brasil. Revista Caatinga, 33, 949-960.
- CARVALHO, A. M. P., Guimarães, M. F., Carvalho, G. M. S., Moraes, A. B., & Machado, R. C. R. et al., (2016). Soil aggregation and carbon storage in silvopastoral systems in the Brazilian savanna. Agriculture, Ecosystems & Environment, 234, 63-70.
- CARVALHO, M.T.M. (2015). Glomalina e os estoques de carbono em sistemas de cultivo: uma revisão. Revista Brasileira de Agroecologia, 10(3), 20-32.
- COSTA, C. P., Silva, M. C. P., & Ribeiro, M. R. (2013). A importância da matéria orgânica do solo na produtividade agrícola e na sustentabilidade ambiental. Revista Científica da UFPA, 11, 43-53.

Costa, F. S., Silva, E. M. R., & Moreira, F. M. (2018). Glomalin-related soil protein in agroforestry systems in the Brazilian Amazon: Influence of different species of leguminous trees. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1661-1671.

CUNHA, J. T. (2015). *Matéria orgânica do solo: conceitos e interpretação*. Editora UFLA.

CUNHA, J. T., Santos, G. A., Trivelin, P. C. O., & Roscoe, R. (2005). Mineralização do nitrogênio de diferentes fontes orgânicas em solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 79-85.

DEDECEK, R. A., SANTIAGO, A. V., GUIMARÃES, P. T. G., LANI, J. L., & VALE, F. R. (2020). Quantidade e qualidade de glomalina em sistemas de cultivo com café Conilon na Amazônia Ocidental. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 30.

DICK, W. A., CHENG, L., WANG, P., & KESSEL, C. V. (2009). Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 2389-2397.

EMRAN, M., SARKER, T. C., SULTANA, N., ISLAM, M. R., & RAHMAN, M. H. (2012). Soil organic carbon sequestration potential of some upland soils in Bangladesh with special emphasis on glomalin. *Soil Science and Plant Nutrition*, v.58 ,p 608-618.

FERREIRA et al. (2017). Agregação e estoques de carbono em sistemas agroflorestais implantados em áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41.

FERREIRA, A. M. A., FIALHO, J. F., & DE ALMEIDA, D. L. (2021). Biomass yield and carbon stocks of *Grevillea robusta* in monoculture and in silvopastoral systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(7), 558-564.

FERREIRA, R. O., SILVA, D. V. D., & SOUZA, D. S. D. (2019). Fungos micorrízicos arbusculares e glomalina no solo cultivado com café arábica em sistemas agroflorestais. *Coffee Science*, 14, 148-157.

FOKOM, R., et al. (2012). Glomalin: Hiding Place and regulator of carbon storage in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(4), 1176-1184.

GAMA-RODRIGUES, A.C. (2011). Soil organic matter, nutrient cycling and biological dinitrogen-fixation in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 81(3), 191–193.

GERDEMANN JW & NICOLSON TH. (1963). Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244.

GISPERT, M., DURÁN, J., & ALCAÑIZ, J. M. (2012). Glomalin-related soil protein as an indicator of tillage-induced soil degradation in Mediterranean semiarid agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 124, 48-53.

GOMES, L. A., DE LIMA, R. P., DOS SANTOS, M. C., BEZERRA, M. L., SILVA, R. F., & ZANCHI, F. B. (2021). Soil chemical properties, aggregate stability, and soil organic carbon fractions in agroforestry systems and monoculture systems in a tropical region of Brazil. *Agroforestry Systems*, 95(6), 2067-2082.

GUAN, H. et al. (2019). Effects of different tree species and ages on soil organic carbon, microbial biomass carbon, and microbial community structure in subtropical China. *Journal of Soils and Sediments*, 19(2), 817–827.

GUAN, Y. et al. (2019). Responses of soil aggregation and aggregate-associated carbon to the conversion of natural forests to plantations or shrublands in subtropical China. *Catena*, 173, 47-57.

HE J.D. (2020). Contribution of glomalina-related soil proteins to soil organic carbon in trifoliolate Orange. *Applied Soil Ecology*, 154

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/barra-do-choca.html>. Acesso em: 18 abr. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JIN, J., Wang, X., Liang, W., Zhang, Y., Li, Y., Li, F., & Wang, Ret al.,. (2016). Effects of aggregate formation pathways on glomalin-related soil protein distribution and storage of organic carbon in different soil depths. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 82-91.

LIAO, M., et al. (2016) Changes in glomalin-related soil protein, carbon, and nitrogen contents in a chronosequence of *Caragana intermedia* plantations in the Horqin Sandy Land, northeastern China. *Catena*, v. 140, p. 163-169.

LOVELOCK, C. E., WRIGHT, S. F., & NICHOLS, K. A. (2004). Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rainforest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(6), 1009-1012.

LUTGEN, E. R., MUIR-CLAIRMONT, D., GRAHAM, J., & RILLIG, M. C. (2003). Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant and Soil*, 257(1), 71-83.

MACÊDO, C. J. D., SOUZA, K. R. D., LUZ, A. J. B. D., & FERREIRA, E. P. D. B. (2019). Glomalina e carbono orgânico em sistemas agroflorestais com cafeeiros na Zona da Mata Mineira. *Enciclopédia Biosfera*, 15(27), 85-95.

- MAIA, C. M. B. F., et al.(2018) Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e do solo sob diferentes sistemas de manejo em solo com textura arenosa no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.
- MELO, E. M., et al.(2018) Carbon and nitrogen stocks in the soil and litter of cocoa agroforestry systems compared to a monoculture system. *Agroforestry Systems*, 92(3),647-654.
- MONROE, P. H. M. (2020). Fire root contribution to the soil carbon stock of an agroforestry system in a Caatinga-Atlantic Forest transition zone. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 56(1), 128-136.
- MONROE, P. H. M., et al.,(2022). Carbon and Nitrogen Occluded in Soil Aggregates Under Cacao-Based Agroforestry Systems in Southern Bahia, Brazil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*..
- MOREIRA, F. M. S., & SIQUEIRA, J. O. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo* (2nd ed.). Editora UFLA.
- NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M., & NAIR, V. D. (2015). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(4), 553-582.
- NEGRISOLI, C. R. et al. (2020). Avaliação do sistema radicular de diferentes variedades de café arábica em função do manejo da adubação nitrogenada. *Coffee Science*, 15(4), 526-535.
- OLIVEIRA, A. A. S., REIS, M. A., GUIMARÃES, P. T. G., NOGUEIRA, M. A., & LANI, J. L. (2020). Frações lábeis do carbono do solo em sistemas agroflorestais de café com incorporação de adubos verdes. *Coffee Science*, 5(2), 245-256.
- OLIVEIRA, A. H., MELO, G. F., FURTADO, A. L. S., & FIGUEIREDO, L. R. A. (2019a). Agroforestry systems improve soil physical properties in comparison to conventional coffee monoculture. *CATENA*, 181, 104075.
- OLIVEIRA, F. M. DE, DE ALMEIDA, G. K. S., MARQUES, G. F. DE A., & DE OLIVEIRA, J. M. de (2019b). Soil microbial biomass and activity in agroforestry systems in semi-arid northeastern Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, e45800.
- OLIVEIRA, J. P., AMARAL, A. S., NEVES, J. C. L., & ANJOS, L. H. C. (2014). Carbon and nitrogen in soil aggregates under native forest, and under conventional and organic management systems in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 143, 51-59.
- OLIVEIRA, K. M., Silva, C. A. S., & Garcia, R. A. (2019c). Qualidade do solo em sistema agroflorestral de café com diferentes arranjos de plantio. *Coffee Science*, 14(3), 315-323.

- PILON, C. N. (2002). Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. Embrapa.
- PURIN, S., & RILLIG, M. C. (2007). The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia*, 51, 123-130.
- RIBEIRO, P. H., SANTOS, J. Z. L., & TORMENA, C. A. (2011). Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. *Revista Verde*, 6(1), 43-50.
- RILLIG, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(4), 355-363.
- RILLIG, M. C.(2004) Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 84, n. 4, p. 355-363, 2004.
- RILLIG, M. C., Wright, S. F., & Eviner, V. T. (2002). The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, 238, 325-333.
- RILLIG, M. C., Wright, S. F., Allen, M. F., & Field, C. B. (1999). Rise in carbon dioxide changes soil structure. *Nature*, 400, 628.
- RILLIG, M.C., WRIGHT, S.F., EVINER, V.T..(2022) The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil*. V 238, p 325–333,2002
- ROSSI, C. Q. (2016). Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. *Pesquisa Agropecuária*, 51(9), 1677-1685.
- SANTOS et al.(2020) . Influência de sistemas agroflorestais na agregação e estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, p. 8-13,.
- SANTOS, A. et al,(2020) Glomalina em agregados de solos em diferentes sistemas florestais e pasto. UESB. 2018.Glomalin in soil aggregates under diferente forest and pasture systems in the North of Rio de Janeiro state,Brazil. *Environmental and Sustainability Indicators*. V 8.
- SANTOS, A. et al. (2018). Glomalina em agregados de solos em diferentes sistemas florestais e pasto. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100100.
- SANTOS, A. J. dos et al. (2000). Variabilidade econômica do Sistema Agroflorestal grevilea x café na região Norte do Paraná. *CERNE*, 6(1), 89-100.

SANTOS, A. P., PUGA, A. P., SIQUEIRA NETO, M., ALVES, B. J. R., & URQUIAGA, S. (2015). Frações lábeis do carbono em sistema agroflorestal com cafeeiro sob diferentes manejos. *Coffee Science*, v 10, n 2, p 182-191.

SANTOS, A. P., Puga, A. P., Siqueira Neto, M., Alves, B. J. R., & Urquiaga, S. (2015). Frações lábeis do carbono em sistema agroflorestal com cafeeiro sob diferentes manejos. *Coffee Science*, 10(2), 182-191.

SANTOS, A., de Paula Santos, H., de Assis Oliveira, M., & da Silva Junior, V. P. (2020). Influência de sistemas agroflorestais na agregação e estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24, 8-13.

SANTOS, H. G. et al. (2014). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa.

SANTOS, H. G. et al. (2020) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa, 2014. NEGRISOLI, C. R. et al. Avaliação do sistema radicular de diferentes variedades de café arábica em função do manejo da adubação nitrogenada. *Coffee Science*, v. 15, n. 4, p. 526-535.

SANTOS, T. R. dos et al. (2021). Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas agroflorestais e monocultivo de café. (Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia).

SARIGOL, D., & Bolat, I. (2018). The effect of legumes and nitrogen fertilization on glomalin-related soil protein in a semiarid area. *Soil and Water Research*, 13(2), 62-69.

SCHOLES, R. J., Canadell, J. G., Linder, S., & Prince, S. D. (2009). Carbon and nitrogen cycles in African ecosystems: a review. *Journal of Ecology*, 97, 493-501.

SCHOLES, R. J., MONTEIRO, P. M. S., SABINE, C. L., & CANADELL, J. G. (2009). Systematic long-term observations of the global carbon cycle. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(8), 427-430.

SILVA et al. (2014) Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares: diversidade, composição e glomalina em área revegetada com sesbânia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 3, p 423-431.

SILVA, C. F., SIMÕES-ARAÚJO, J. L., & SILVA, E. M. R. (2010). Proteína do solo relacionada à glomalina: uma alternativa para avaliação da qualidade do solo. In M. V. B. Figueiredo, H. A. Burity, J. P. Oliveira, C. E. R. S. Santos, & N. P. Stamford (Eds.), *Biotechnology aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais* (pp. 519-532). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

SILVA, E. A., RAMOS, M. L. G., & HIGASHIKAWA, F. S. (2018). Caracterização da estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(9), 650-655.

SILVA, J. R. L. et al. (2014). Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares: diversidade, composição e glomalina em área revegetada com sesbânia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 423-431.

SIX, J., CONANT, R. T., PAUL, E. A., & PAUSTIAN, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(1), 155-176.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E. & PAUSTIAN, K.(2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241:155-176.

SOUSA, J. A. C., FERREIRA, F. S., & SILVA, M. R. (2017). A utilização da gamificação no ensino de matemática. *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, 16(1), 123-134.

SOUSA, J. A. C.; FERREIRA, F. S.; SILVA, M. R.(2017) A utilização da gamificação no ensino de matemática. *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, v. 16, n. 1, p. 123-134..

SOUSA, J. P. A. et al. (2020). Impact of tree species and soil management practices on soil organic matter fractions in an agroforestry system in the Brazilian Cerrado. *Geoderma*, 368, 114333.

SOUZA, E. D. et al. (2020). Impactos das práticas agrícolas sobre os atributos físicos do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, 63(3), 203-216.

SOUZA, L. C. F., OLIVEIRA, M. A., & MENDES, I. C. (2019). Agregação e estoques de carbono em um sistema agroflorestal de café com diferentes manejos do solo e cobertura vegetal. *Ciência Rural*, 49(5).

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., SOUZA, V. A., & LOBATO, E. (Eds.). (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (3a ed.). Embrapa Solos.

TUGELA, F. A., RALISCH, R., ROESCH, L. F., & CAMARGO, F. A. (2016). Atributos biológicos do solo em áreas agrícolas com diferentes históricos de uso no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40.

VIEIRA, S. R., & Moreira, F. M. (2006). Micronutrientes e matéria orgânica do solo em sistemas agroflorestais com café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(4), 549-556.

WRIGHT, S. F., & UPDAHYAYA, A. (1998). Microbial biomass and activity in soils as affected by freezing and thawing. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(2), 159-166.

YEOMANS, J. C., & BREMNER, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in soil science and plant analysis*, 19(13), 1467-1476.

DIRETRIZES PARA AUTORES

A revista **Scientia Forestalis** publica artigos científicos originais e inéditos relacionados com aspectos biológicos, ecológicos, econômicos e sociais do manejo, produção e uso de florestas e seus recursos naturais.

Os manuscritos submetidos devem apresentar mérito científico, ou seja, contribuir para o avanço do conhecimento científico, e não podem ter sido publicados ou encaminhados simultaneamente para outros periódicos.

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade desta revista e não representam necessariamente as opiniões do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), sendo o conteúdo de responsabilidade do autor.

Serão aceitos manuscritos em Português, Inglês e Espanhol. Textos em Inglês e espanhol passarão por avaliação do revisor de idioma, e estará sujeito à recusa ou devolução para readequação gramatical. Caso seja de interesse do autor, a revista poderá indicar revisores de idioma.

Forma de apresentação:

1. Serão aceitos textos apenas em formatos compatíveis ao Microsoft Word
2. O manuscrito deve conter no máximo 30 páginas numeradas, incluindo figuras, tabelas, quadros e anexos, escritas em espaço duplo entre linhas, fonte Arial tamanho 12, margem de 2,5cm de cada lado e em papel tamanho ISO A4 (212x297mm);
3. Abreviações devem ser usadas em apenas uma forma. Uma vez que uma abreviação é usada no texto, ela deve seguir o mesmo padrão para todo o manuscrito e também nas figuras e tabelas;
4. As figuras e tabelas devem ser apresentadas apenas após as referências com o título e legendas no idioma do manuscrito. A localização aproximada desses elementos deve ser indicada no texto com uma chamada entre dois parágrafos. Exemplo: Entra a Figura 2; Entra a Tabela 4;
5. As fotos devem ser enviadas em formato JPEG com, no mínimo 300 dpi de resolução e no máximo 20 cm de largura;
6. Os gráficos devem ser enviados no formato de imagem (jpeg, png, gif) e devem estar citados no texto como “Figura”, conforme comentado no item anterior;

7. As tabelas devem estar em formato editável (digitadas). Não serão aceitas em formato de imagem;
8. A primeira página deve conter: título em português e inglês;
9. As referências bibliográficas e citações devem estar de acordo com as normas adotadas pela APA (*American Psychological Association*). A lista de referências deve ser apresentada ao final do texto em ordem alfabética e apenas com as referências citadas no artigo;
10. Não são aceitas notas de rodapé.

Sequência de apresentação:

1. Título em português e inglês;
2. Resumo em português e inglês. O resumo deve conter no máximo 400 palavras apresentando os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões;
3. Palavras-chave em português e inglês;
4. Introdução, incluindo a revisão de literatura;
5. Material e métodos;
6. Resultados;
7. Discussão;
8. Conclusão;
9. Referências bibliográficas