

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG

LETÍCIA GONÇALVES DO NASCIMENTO

RÁFIA COMO ALTERNATIVA DE COBERTURA DO SOLO NA
LINHA DE PLANTIO DO CAFEIEIRO

MONTE CARMELO – MG

2025

LETÍCIA GONÇALVES DO NASCIMENTO

RÁFIA COMO ALTERNATIVA DE COBERTURA DO SOLO NA
LINHA DE PLANTIO DO CAFEIEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Orientadora: Prof^a Dr^a Gleice Aparecida de Assis

Coorientadores: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

Prof^a Dr^a Cinara Xavier de Almeida

MONTE CARMELO – MG

2025

RÁFIA COMO ALTERNATIVA DE COBERTURA DO SOLO NA
LINHA DE PLANTIO DO CAFEEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola.

Monte Carmelo, 21 de fevereiro de 2025.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Gleice Aparecida Assis – Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Anderson William Dominghetti – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Centro-Serrano

Prof. Dr. Edson Simão - Universidade Federal de Uberlândia



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	21/02/2025	Hora de início:	8:00	Hora de encerramento:	10:10
Matrícula do Discente:	32312AIG010				
Nome do Discente:	Letícia Gonçalves do Nascimento				
Título do Trabalho:	Ráfia como alternativa de cobertura do solo na linha de plantio do cafeeiro				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas Integrados de Produção Vegetal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Tecnologias aplicadas à cafeicultura				

Reuniu-se na sala virtual <https://meet.google.com/fqs-nzsk-wev>, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais assim composta: Professores Doutores Gleice Aparecida de Assis - ICIAG/UFU, orientadora da candidata Letícia Gonçalves do Nascimento; Edson Simão - ICIAG/UFU, Anderson William Dominghetti - Instituto Federal do Espírito Santo -Campus Centro Serrano.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Gleice Aparecida de Assis, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gleice Aparecida de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/02/2025, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Simão, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/02/2025, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anderson William Dominghetti, Usuário Externo**, em 21/02/2025, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6119822** e o código CRC **FD3F3EA3**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

N244 2025	Nascimento, Leticia Gonçalves do, 1997- Ráfia como alternativa de cobertura do solo na linha de plantio do cafeeiro [recurso eletrônico] : . / Leticia Gonçalves do Nascimento. - 2025. Orientadora: Gleice Aparecida de Assis. Coorientadora: Cinara Xavier de Almeida. Coorientadora: Eusímio Felisbino Fraga Júnior. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.168 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Agronomia. I. Assis, Gleice Aparecida de, 1986-, (Orient.). II. Almeida, Cinara Xavier de, 1982-, (Coorient.). III. Fraga Júnior, Eusímio Felisbino , 1986- , (Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. V. Título. CDU: 631
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me proporcionar saúde e esperança para sempre lutar para conquistar meus objetivos. Aos meus pais, Abadia e Alamim, por sempre me motivarem a ir em busca dos meus sonhos e nunca desacreditarem meu potencial. Ao Marco Iony, pelo apoio e por sempre estar ao meu lado e me ajudar sempre no que foi preciso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento, gostaria de agradecer a Deus, por sempre iluminar meus passos e me proporcionar sabedoria, força e coragem, para sempre ir em busca dos meus sonhos. À Nossa Senhora da Abadia, por me amparar em todos os momentos de fraqueza, nos quais pedi sua ajuda em não me deixar desistir.

Aos meus pais, Alamim e Abadia, por sempre me motivarem e acreditarem em meu potencial, agindo de forma a sempre motivar e impulsionar minhas escolhas e nunca me deixaram desistir dos meus sonhos, mesmo diante de tantas dificuldades. Vocês são a minha vida. Amo vocês!

Ao Marco Iony, por todo amor e paciência comigo, sempre estando presente nos momentos difíceis e também nas vitórias. E, principalmente, caminhando sempre ao meu lado para ajudar a realizar meus sonhos.

A minha orientadora Prof^{ra}. Dr^a. Gleice Aparecida de Assis, pela confiança oferecida desde a graduação, depositando desde então vários ensinamentos, conselhos, incentivos e atenção durante toda minha trajetória e, mais uma vez, me ajudando a finalizar mais uma etapa importante na minha vida. Muito obrigada por toda dedicação depositada em mim. Você é meu exemplo.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior e Prof^a Dr^a Cinara Xavier de Almeida, pelos ensinamentos e por prontamente me ajudarem, sempre quando precisei.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à Universidade Federal de Uberlândia, a todos os professores e técnicos, pelo apoio contínuo durante minha trajetória acadêmica e pela qualidade e excelência no ensino, pela disponibilização de recursos físicos, equipamentos e materiais.

Gostaria de agradecer ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura do Cerrado (NECACER) e a todos os discentes colaboradores que se dedicaram à coleta de dados.

Ao cafeicultor Egídio Moniz, por incentivar e ceder a área para a realização do estudo. Também sou grata aos funcionários Everaldo e Cristina, que sempre nos receberam com tanto carinho na fazenda, além da ajuda na coleta dos dados

Agradeço a empresa Braskem, pela parceria para a realização deste estudo.

Por fim, agradeço a todos meus familiares e amigos, que ajudaram a concluir mais esta etapa importante da minha vida. Gratidão!

“Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano. Sempre que alguém descobre este poder, algo antes considerado impossível, se torna realidade.”

(Albert Einstein)

BIOGRAFIA

Letícia Gonçalves do Nascimento nasceu em Monte Carmelo – MG em 12 de outubro de 1997, filha de Abadia Tereza do Nascimento e Alamim Gonçalves dos Reis. Iniciou seus estudos aos seis anos de idade, na Escola Estadual Lourival Brasil, localizada na comunidade de Água Emendada, distrito de Estrela do Sul. Quando finalizou a 4ª série, continuou seus estudos na Escola Estadual Robert Kennedy, permanecendo nela até o término do Ensino Médio.

Devido a sua ambição em ter uma carreira profissional com ênfase no setor agrícola, e motivada a acompanhar o pai nas atividades rurais que sustentavam a família, em 2015, participou do vestibular da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, onde conseguiu passar em segundo lugar no curso de Agronomia

Durante a graduação, em 2019, ingressou no Núcleo em Estudos de Cafeicultura do Cerrado – NECACER, auxiliando nas pesquisas voltadas a tecnologias aplicadas na cafeicultura, participando dos programas PIVIC com o projeto intitulado “Análise do sistema radicular de cafeeiros cultivados com *mulching* de polietileno de diferentes larguras e cores”, que, posteriormente, passou para o programa PIBIC com o mesmo projeto. Já em 2020, participou do programa PIBITI com o projeto intitulado “Crescimento de cafeeiros e temperatura do solo em função do uso do *mulching* e adubação de liberação controlada”.

Durante esse período, participou de estágios extracurriculares, atuando na área de consultoria agrônoma na cafeicultura e em cereais, aprendendo de perto a vivência do campo e a parte de prestação de serviços com consultores privados e de vendas. Além disso, participou de diversos simpósios, eventos, cursos e foi monitora da disciplina de Sensoriamento remoto no curso de Agronomia.

No último período da graduação, participou do projeto intitulado “Qualificação de Egressos do curso de Agronomia por meio da Residência Agrícola na região do Cerrado Mineiro, Minas Gerais”, tendo a possibilidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos e desenvolver novas habilidades que foram necessárias para o ingresso no mercado de trabalho. Em 2022, concluiu o curso de Agronomia e iniciou o primeiro trabalho na área especializada no cargo de pesquisadora na empresa Centro de Pesquisa Cafeeira Mário Jordão.

Em 2023, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo, sendo orientada pela Prof^a. Dr^a. Gleice Aparecida Assis, especialista na cultura do cafeeiro. Sua

pesquisa foi desenvolvida com a ráfia, uma cobertura de polipropileno colocada sobre a linha do caf eeiro, e buscou verificar se seu uso influencia parâmetros físicos, hídricos e biológicos do solo e a morfologia e distribuição do sistema radicular do caf eeiro. Ao término de dois anos, recebeu, em fevereiro de 2025, o título de “Mestre”.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	<i>Descrição da área experimental e tratamentos</i>	3
2.1	<i>Avaliações dos parâmetros físicos do solo</i>	3
2.2	<i>Avaliação dos parâmetros hídricos do solo</i>	6
2.3	<i>Avaliações dos parâmetros biológicos do solo</i>	7
2.4	<i>Avaliações dos parâmetros biológicos do solo</i>	8
2.5	<i>Avaliações da morfometria do sistema radicular do cafeeiro</i>	8
2.6	<i>Análises estatísticas</i>	8
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
3.1	<i>Avaliações dos parâmetros físicos do solo</i>	10
3.2	<i>Avaliações dos parâmetros hídricos do solo</i>	14
3.3	<i>Avaliações dos parâmetros biológicos do solo</i>	17
3.4	<i>Avaliações da morfometria do sistema radicular do cafeeiro</i>	19
3.5	<i>Matriz de correlação</i>	23
4	CONCLUSÕES	24
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

RESUMO

NASCIMENTO, Leticia Gonçalves do. **Ráfia como alternativa de cobertura do solo na linha de plantio do cafeeiro.** Orientadora: Gleice Aparecida de Assis. 2025.45 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

O uso de coberturas na linha de plantio do cafeeiro é uma alternativa no controle de plantas daninhas e, conseqüentemente, promove melhorias nos atributos físico-hídricos do solo, visando criar condições favoráveis para o desenvolvimento radicular, reduzir a amplitude térmica e evaporação da água, aumentando a capacidade de retenção de água no solo. O objetivo com a realização desta pesquisa foi avaliar os parâmetros físicos-hídricos e biológicos do solo em resposta a cobertura com ráfia e suas implicações na morfometria das raízes do cafeeiro. O plantio da cultivar IPR 100 foi realizado em janeiro de 2020, utilizando espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco blocos e quatro tratamentos, sendo: ráfia sem espaçamento, ráfia com 0,7 m de espaçamento, ráfia com 0,5 m de espaçamento e ausência de cobertura plástica. Foram avaliados parâmetros morfométricos do sistema radicular em junho de 2023 e abril de 2024 e atributos físicos e biológicos do solo em abril de 2024. O uso da ráfia em diferentes espaçamentos não influenciou as características físicas, biológicas e o sistema radicular do cafeeiro, quando comparado ao controle. As raízes do cafeeiro estão localizadas em maior proporção entre as plantas e na camada de 0-0,2 m de profundidade.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; cobertura de polipropileno; atributos do solo.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Leticia Gonçalves do. **Raffia as an Alternative for Soil Covering in the Coffee Planting Row**. Advisor: Gleice Aparecida de Assis. 2025. 45 f. Dissertation (Master's in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

The use of coverings in the coffee planting row is an alternative for weed control and, consequently, promotes improvements in the soil's physical and water-related attributes. This aims to create favorable conditions for root development, reduce thermal amplitude and water evaporation, and increase the soil's water retention capacity. This study aimed to evaluate the physical, water-related, and biological parameters of the soil in response to raffia coverage and its implications for the root morpheme. The IPR 100 cultivar was planted in January 2020, with a spacing of 3.8 m between rows and 0.6 m between plants. The experiment was designed in randomized blocks, with five blocks and four treatments: raffia without spacing, raffia with 0.7 m spacing, raffia with 0.5 m spacing, and no plastic covering. Root system morphometric parameters were evaluated in June 2023 and April 2024, and soil physical and biological attributes were assessed in April 2024. The use of raffia at different spacings did not influence the physical and biological characteristics or the coffee root system compared to the control. The coffee roots were predominantly located between plants and in the 0–0.2 m depth layer.

Keywords: *Coffea arabica* L.; polypropylene mulch; soil attributes.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) integra uma das cadeias produtivas mais importantes do agronegócio, pois proporciona a geração de empregos e recursos financeiros (Vicente *et al.*, 2017). O estado de Minas Gerais destaca-se como o maior produtor de *C. arabica* L. do país, caracterizando-se por altas produtividades advindas do uso de insumos agrícolas, irrigação, cultivo mecanizado e cultivares adequadas para a região (Fernandes *et al.*, 2020). Em média, 4 milhões de empregos são gerados pela atividade de produção cafeeira no estado de Minas Gerais (Martins *et al.*, 2022).

Com o aumento da demanda hídrica decorrente do acréscimo da população mundial, é necessário o desenvolvimento de estratégias que melhorem a eficiência do uso da água (Ribeiro, 2024), reduzindo o uso dos recursos hídricos na agricultura e refletindo no cultivo sustentável e mais rentável (Reis *et al.*, 2024).

O uso da irrigação aumentou nas principais regiões produtoras nos últimos anos devido às mudanças climáticas atuais, ocasionando déficits hídricos anuais superiores a 150 mm, prejudicando o desenvolvimento vegetativo e produtivo da planta (Fernandes *et al.*, 2020). É de suma importância a busca por métodos de manejo que proporcionem maior eficiência do uso da água no cultivo e que eleve a produtividade. A produção precisa acompanhar a demanda mundial de consumo do café, que apresenta um aumento projetado de 30% até 2030 (Abreu Júnior *et al.*, 2022). O Brasil terá que maximizar em até 32% a produção para conseguir contribuir com a oferta do café para suprir a demanda mundial (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa], 2023).

O desafio será encontrar alternativas de manejo que possam garantir uma produção sustentável mesmo em meio à instabilidade das condições de clima. O manejo com práticas de cobertura do solo são alternativas que podem proporcionar melhorias nos atributos físico-hídricos do solo e, por consequência, contribuir para a formação da estrutura do sistema radicular em desenvolvimento (Ahmad *et al.*, 2022). A cobertura do solo, além de possibilitar redução do uso de herbicidas pela sua ação de controle físico sobre as plantas daninhas (Silva *et al.*, 2019), reduz a amplitude térmica no solo. Neste manejo, evidencia-se a proteção da superfície do solo (Bertollo e Levien, 2019), o aumento da capacidade de retenção de água com a manutenção do solo úmido por maior período (Salomão *et al.*, 2020), redução da resistência do solo à penetração (Fagundes *et al.*, 2019) e aumento da produtividade (Neto *et al.*, 2022).

Entre os tipos de cobertura de solo utilizados em lavouras cafeeiras, o emprego do *mulching* de polietileno proporcionou incremento de 16,9 sacas ha⁻¹ na produtividade de *C. arabica* L. em primeira safra para lavoura conduzida com manejo de sequeiro na região do Cerrado Mineiro (Nascimento *et al.*, 2020). Quando adotado o manejo de cobertura com *mulching* associado à irrigação por gotejamento, não se observa efeitos da cobertura no rendimento da cultura (Caixeta *et al.*, 2022).

A cobertura com *mulching* contribui para manutenção da água no solo por mais tempo e resulta em maior desenvolvimento do sistema radicular (Lambert *et al.*, 2017). Observa-se maior comprimento específico e superfície específica de raízes no cafeeiro sobre *mulching*, acarretando em maior aproveitamento de água e nutrientes no solo (Nascimento *et al.*, 2023). Aliado à produtividade e sustentabilidade, o uso do *mulching* proporciona maior atividade enzimática, principalmente da enzima arilsulfatase (Fonseca, 2021), o que pode favorecer a disponibilidade de enxofre no solo.

Novos materiais como coberturas à base de polipropileno, conhecidas como ráfia, estão sendo testadas em algumas culturas. Este material apresenta durabilidade de aproximadamente 24 meses no campo e maior resistência em relação às tradicionais coberturas de polietileno utilizadas em culturas perenes.

A utilização de coberturas de solo em lavouras adultas ou em fase de implantação que permaneçam no solo por pelo menos quatro anos apresenta-se como uma alternativa de manejo a ser estudada. As pesquisas têm evidenciado benefícios no controle de desenvolvimento de plantas daninhas e redução da lâmina de água aplicada via irrigação, em função da redução da evaporação da água do solo.

Nesta pesquisa, adotou-se o uso de cobertura do solo com polipropileno como alternativa de manejo do cafeeiro em produção. Objetivou-se avaliar parâmetros físicos, hídricos e biológicos do solo em resposta à cobertura com ráfia e suas implicações na morfometria das raízes do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental e tratamentos

O experimento foi realizado no sítio Goa, situado no município de Araguari-MG, nas coordenadas 18°38'18.24"Sul e 48°15'13.08" Oeste na altitude de 925 metros (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo vermelho distrófico, com classificação textural argiloso, apresentando 37% de areia, 11% de silte e 52% de argila.

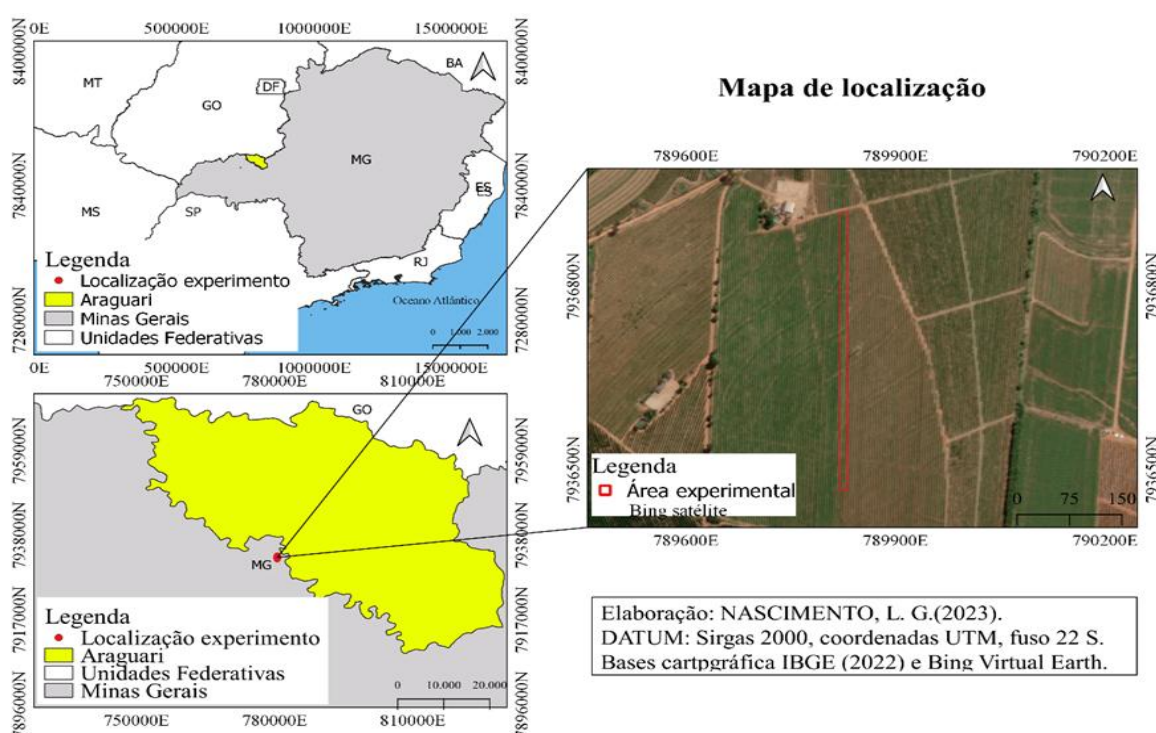


FIGURA 1. Localização da área experimental, Araguari – MG.

Fonte: A autora (2023).

O clima da região é classificado como tropical com inverno seco, Aw (Köppen), com precipitação média anual de 1.250 milímetros (Figura 2) e temperatura média anual de 24°C (Martins *et al.*, 2018)

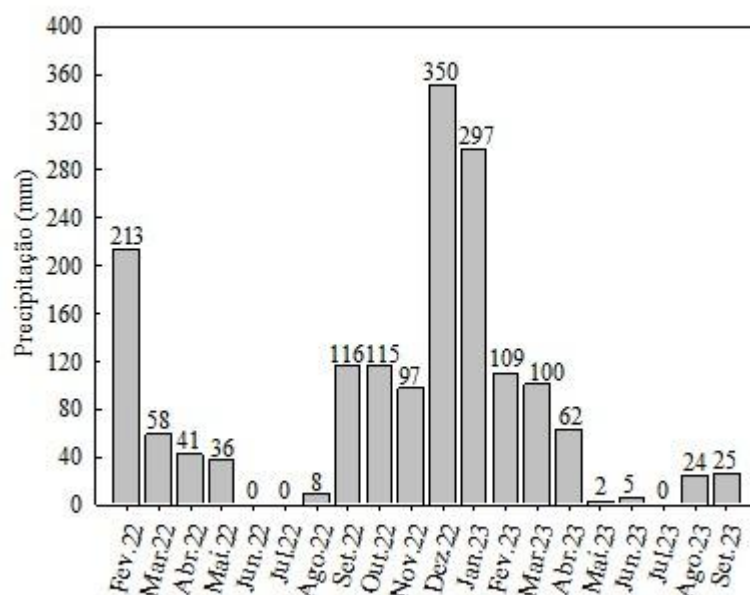


FIGURA 2. Precipitação mensal da área experimental, Araguari – MG.

Fonte: A autora (2025).

O plantio da lavoura foi efetuado em janeiro de 2020 com mudas da cultivar IPR 100, no espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com emissores da marca Netafim modelo UniRam™ espaçados a 0,6 m e vazão de 1,6 L hora⁻¹. A irrigação foi realizada em turno de rega fixo em dias alternados, com duração de três a quatro horas por setor/dia durante o inverno, permanecendo desligada durante o verão devido a ocorrência de precipitações na região.

A caracterização química do solo em 2023, na profundidade de 0-20 cm, apresentou os seguintes resultados: pH H₂O = 5,6; P e K (método Mehlich⁻¹) = 39,4 e 140,0 mg dm⁻³, respectivamente; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (método KCl 1 mol L⁻¹) = 3,3; 0,7 e 0,0 cmolc dm⁻³, respectivamente; H+Al (Solução Tampão SMP pH 7,5) = 3,8 cmolc dm⁻³, capacidade de troca catiônica potencial = 8,16 cmolc dm⁻³, capacidade de troca catiônica efetiva e soma de bases = 4,36 cmolc dm⁻³, saturação de bases = 53% e matéria orgânica = 4,1 dag kg⁻¹.

As doses de adubo aplicadas em 2023 foram realizadas de acordo com Guimarães *et al.* (1999). As fontes de adubos utilizadas foram o formulado 20-05-20 (N – P₂O₅ – K₂O) na dose de 80 g metro⁻¹, ureia (45% de N) na dose de 10 g por planta de café, nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂) e ácido bórico (H³BO³) aplicados via fertirrigação nas doses de 15 kg ha⁻¹ e 3 kg ha⁻¹, respectivamente, fosfato monoamônico (11% de nitrogênio e 52% de fósforo) na dose de 76 g m⁻¹ e cloreto de potássio (58% de K₂O e 42% de Cl) na dose de 52 g m⁻¹ (Silva, 2024).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco blocos e quatro tratamentos: 1- ráfia de 1,4 m, cortada no meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do tronco, sem espaço entre elas (Figura 3 A); 2 - ráfia de 1,4 m, cortada no meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do tronco, com espaço de 0,50 m entre elas (Figura 3 B); 3 - ráfia de 1,4 m, cortada no meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do tronco, com espaço de 0,70 m entre elas (Figura 3 C); 4 - tratamento controle (sem ráfia) (Figura 3 D). O experimento foi composto por 20 parcelas constituídas por 15 plantas, considerando úteis as oito centrais.



FIGURA 3. Tratamento com a ráfia sem espaçamento entre elas (A), ráfia com 0,7 m de espaçamento (B), ráfia com espaçamento de 0,5 m entre elas (C) e controle (D).

Fonte: A autora (2024).

A rafia foi instalada na área experimental em dezembro de 2021, apresentando cor carijó e gramatura de 105 g m⁻². Durante o período de condução do experimento, foram avaliados os parâmetros físico-hídricos e biológicos do solo e morfometria do sistema radicular do cafeeiro (Figura 4).

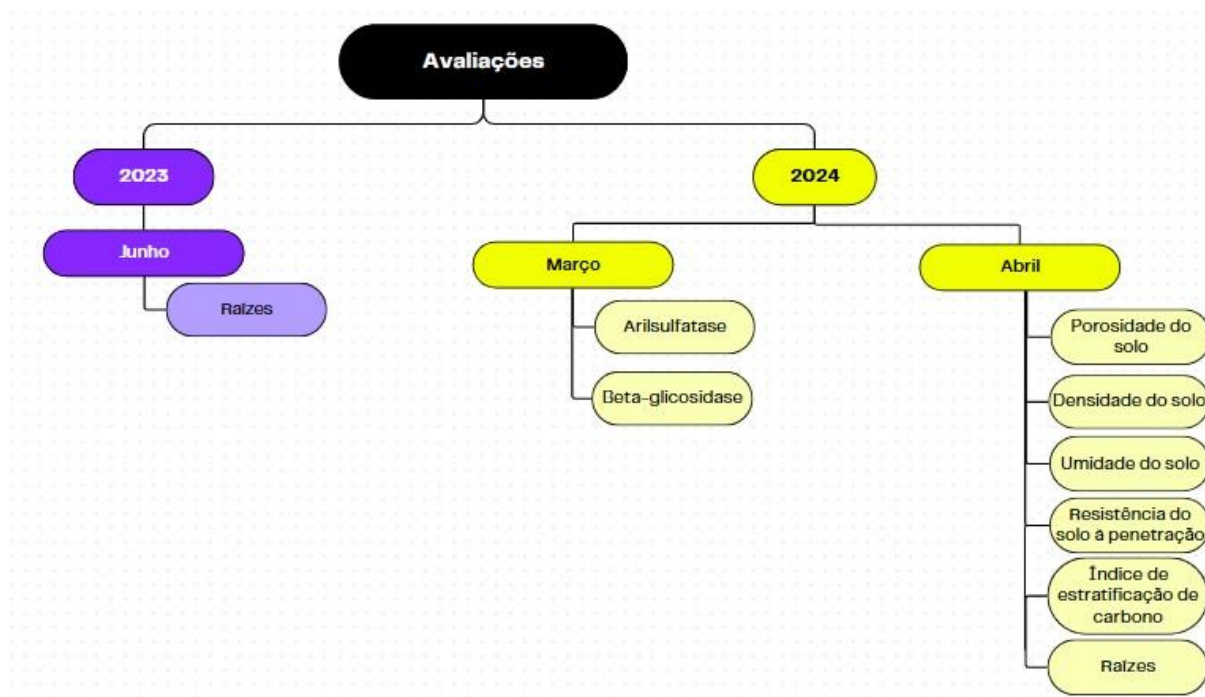


FIGURA 4. Época de amostragem dos parâmetros físicos, biológicos e morfometria do sistema radicular do cafeeiro.

Fonte: A autora (2025).

2.2 Avaliações dos parâmetros físicos do solo

A porosidade do solo foi avaliada na profundidade de 0,0-0,10 m a 0,40 m do ramo ortotrópico da planta. Foi utilizada a medida direta, obtida por meio da mensuração da massa de água necessária para saturar a amostra indeformada de solo de volume total conhecido. Foi realizada saturando o solo com água, sendo a massa de água obtida pela diferença do solo saturado e do solo seco em estufa.

A densidade do solo foi avaliada na mesma profundidade que a porosidade, sendo determinada em duas etapas: a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação do volume, que foi obtido por meio da coleta indeformada de amostras com cilindro volumétrico. A massa foi calculada por meio da pesagem da amostra após secagem a 105°C

em estufa, e o volume por meio da medida do diâmetro interno e altura do cilindro metálico utilizado na coleta.

Para a umidade do solo, amostras foram coletadas a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico, nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, determinando-se a massa de água presente na amostra de solo nas condições da coleta. A amostra foi transportada para o laboratório em embalagem impermeável e vedada e, posteriormente, pesada. Em seguida, a amostra foi seca em estufa a 105°C. A massa de água presente na amostra foi obtida pela diferença da massa úmida e da massa seca (umidade em base gravimétrica). A porosidade, densidade e umidade do solo seguiram a metodologia descrita por Embrapa (1997).

Foram realizadas leituras na profundidade de 0,0-0,60 m, em camadas de 0,05 m para mensuração da resistência do solo à penetração, por meio de um penetrômetro de impacto (Stolf, 1991) em dois pontos que, posteriormente, foram integralizados e apresentados nas profundidades de 0,0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m. O primeiro ponto foi localizado entre as plantas do cafeeiro e o segundo a 0,40 m de distância do primeiro no sentido da entrelinha do cafeeiro.

O índice de estratificação de carbono (IEC) foi obtido por amostragens de solo nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade para determinação do conteúdo de matéria orgânica. O IEC foi calculado conforme Franzluebbbers, 2002, em que o valor do conteúdo de matéria orgânica da camada superficial do solo (0–0,05 m) foi dividido pelo valor da camada subsuperficial (0,05–0,10 m). A determinação do conteúdo de matéria orgânica nessas camadas foi realizada conforme Embrapa (1997).

2.3 Avaliação dos parâmetros hídricos do solo

Os parâmetros hídricos foram coletados por meio de uma bateria de tensiômetros instalada nas profundidades de 0,20 m, 0,40 e 0,60 m, por tratamento e em três blocos, a fim de monitorar a tensão de água no solo e estimar a umidade. As leituras dos tensiômetros foram realizadas diariamente no período matutino e no período de fevereiro de 2022 a setembro de 2023.

2.4 Avaliações dos parâmetros biológicos do solo

A avaliação de bioindicadores de qualidade de solo foi realizada na profundidade de 0,0-0,10 m para quantificação das atividades das enzimas β -glicosidade e arilsulfatase no solo. O solo foi coletado e seco ao ar até obtenção de massa constante. Posteriormente, 5 g de solo foram utilizados na análise das enzimas seguindo a metodologia proposta por Mendes *et al.* (2019) e Tabatabai, 1994. Os resultados foram expressos em mg p-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1} (mg p-NP kg^{-1} solo h^{-1}).

Foi realizada a análise de correlação da matéria orgânica do solo e atividade enzimática específica média por meio da plotagem do modelo de quatro quadrantes, seguindo metodologia e parâmetros de Chaer *et al.* (2023).

2.5 Avaliações da morfometria do sistema radicular do cafeeiro

As coletas das raízes foram realizadas em junho de 2023 (1,5 anos após a instalação da rafia) e abril de 2024 (2,3 anos após a instalação da rafia) com a utilização do trado caneco de duas polegadas (volume de 400 cm^3). As coletas foram realizadas em seis pontos: P1 – entre as plantas de cafeeiro a 0-0,20 m de profundidade; P2 – entre as plantas a 0,20-0,40 m de profundidade; P3 – entre as plantas a 0,40-0,60 m de profundidade; P4 – distanciado 0,40 m do primeiro ponto a 0-0,20 m de profundidade; P5 - distanciado 0,40 m do primeiro ponto a 0,20-0,40 m de profundidade; P6 - distanciado 0,40 m do primeiro ponto a 0,40-0,60 m de profundidade. As raízes foram processadas seguindo a metodologia proposta por Ronchi *et al.*, 2015, obtendo-se as variáveis massa seca total de raízes por volume de solo (MST), em mg cm^{-3} ; comprimento total de raízes por volume de solo (CT), em cm cm^{-3} ; volume total de raízes por volume de solo (VT), em $\text{mm}^3 \text{ cm}^{-3}$; área total de raízes por volume de solo (AT), em $\text{mm}^2 \text{ cm}^{-3}$; superfície específica de raízes (SE), obtida pela relação entre AT e MST, em $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$; comprimento específico de raízes, obtido pela relação entre CT e MST, em m g^{-1} ; e diâmetro médio das raízes (DM), em milímetros.

2.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, após atender as pressuposições de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e

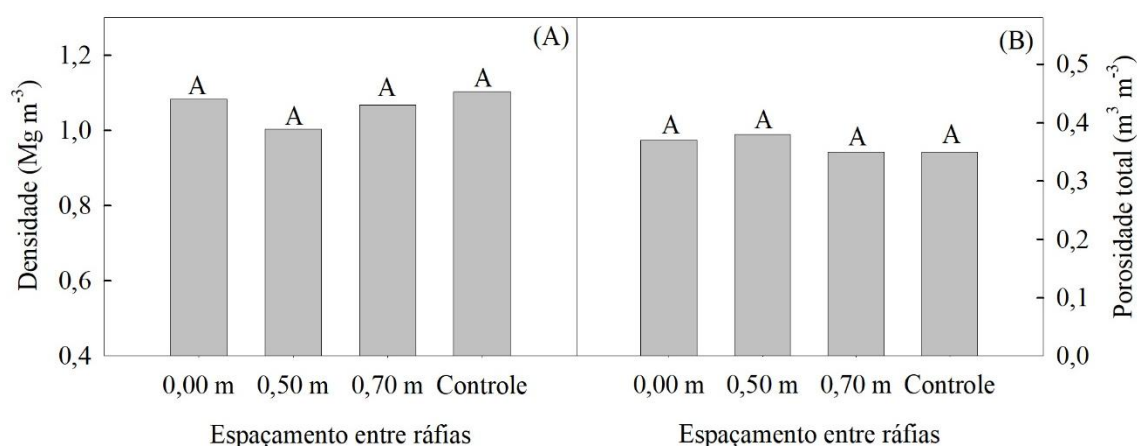
aditividade de blocos. Para os dados relacionados às raízes, foi considerado um fatorial em esquema de parcelas subdivididas (4 x 6) a partir de um modelo baseado no método dos mínimos quadrados (GLS) ajustado via REML para o controle dos desvios de variância presentes entre os pontos de coleta. Com diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A análise multivariada relacionada às tensões de água no solo em diferentes épocas foi realizada utilizando o método Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages (UPGMA) e representada a partir de um mapa de calor e método hierárquico que permite uma visão bidimensional da similaridade, calculando a soma de quadrado entre dois agrupamentos e gerando um dendrograma. Também foi realizada a matriz de correlação entre as variáveis. As análises estatísticas foram realizadas com o software R® (R Core Team, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliações dos parâmetros físicos do solo

Não houve diferença significativa pelo teste F ($p > 0,05$) entre os tratamentos para densidade aparente (Figura 5A) e porosidade total do solo (Figura 5B). A densidade aparente média do solo da área experimental foi $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$. Veihmeyer e Hendrickson, (1948) e Reynolds *et al.* (2002) relatam que a densidade de $1,6$ a $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos argilosos influencia negativamente no desenvolvimento radicular da planta. Desta forma, as condições da área experimental não apresentaram características negativas para o desenvolvimento radicular do cafeeiro para este parâmetro avaliado.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

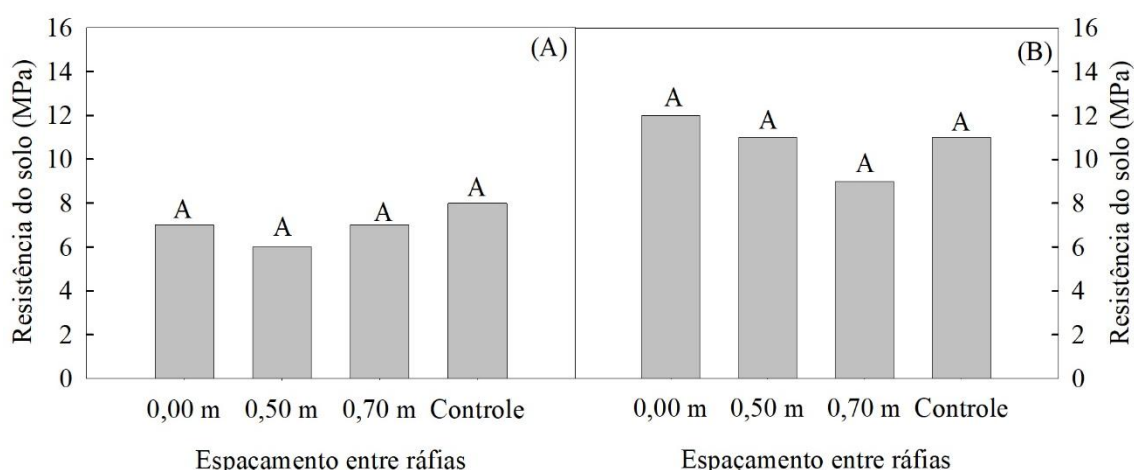
FIGURA 5. Densidade do solo (A) e porosidade total (B) em função dos espaçamentos entre as ráfias. Coeficiente de variação (CV). CV (A):6,34%; CV (B): 10,34%.

Fonte: A autora (2025).

Os tratamentos apresentaram porosidade média do solo de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 5B). Kiehl (1979) relata que solos com boa aptidão agrícola apresentam, em média, porosidade total de aproximadamente $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Desta forma, há bom indicativo de qualidade do solo para cultivos agrícolas na área experimental.

Alguns autores relatam que o uso de cobertura vegetal morta (Dung *et al.*, 2022; Mahmood *et al.*, 2023; Minhas *et al.*, 2023; Fan *et al.*, 2024), filme de polietileno (Javed *et al.*, 2020; Mubarak *et al.*, 2022) e filme biodegradável (Qi *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2021) como cobertura do solo proporcionam redução na densidade e aumento na porosidade total, o que contradiz os resultados encontrados com o uso do filme de polipropileno, em que a sua utilização não apresentou alterações nestas variáveis durante o período analisado.

Não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) entre os tratamentos para a resistência do solo à penetração na análise entre as plantas (Figura 6A) e a 0,4 m de distância do ramo ortotrópico no sentido da entrelinha do cafeeiro (Figura 6B), apresentando média geral de 7,00 MPa e 10,75 MPa, respectivamente.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

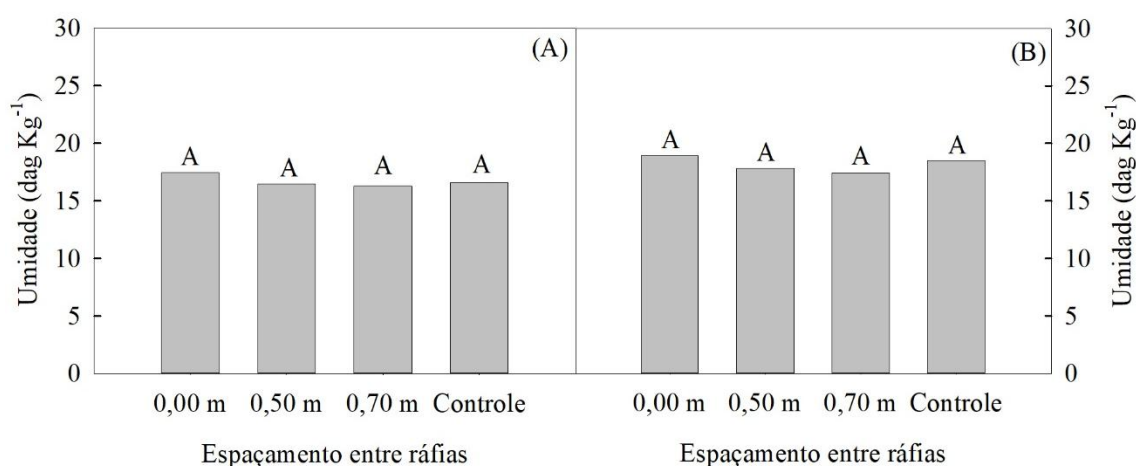
FIGURA 6. Resistência do solo à penetração na camada de 0-0,2m no ponto localizado entre as plantas (A) e a 0,4 m de distância do ramo ortotrópico no sentido da entrelinha do cafeeiro (B) em função dos espaçamentos entre as ráfias. Coeficiente de variação (CV). CV (A): 18,37%; CV (B): 32,93%.

Fonte: A autora (2025).

A compactação nos solos agrícolas apresenta bastante relevância, visto que o trânsito de máquinas é um dos principais fatores que proporciona aumento da resistência do solo à penetração, refletindo em dificuldade no desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, da parte aérea da planta (Khoramizadeh *et al.*, 2021).

O uso de cobertura do solo promove melhorias na estruturação das partículas do solo, de modo a reduzir sua resistência à penetração (Wang *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2023), principalmente quando são utilizados materiais vegetais decompostos, pois isso aumenta a matéria orgânica no solo (De la Rosa *et al.*, 2019; Sabino *et al.*, 2022). Já com o uso da rafia, não houve influência nas características físicas do solo.

Em relação à umidade do solo, não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) entre os tratamentos nas profundidades de 0-0,20 m (Figura 7A) e 0,20-0,40 m (Figura 7B). Em média geral, a umidade na camada de 0-0,20m foi de 16,69 dag kg⁻¹ e na profundidade de 0,20-0,40m foi de 18,19 dag kg⁻¹ na época avaliada.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

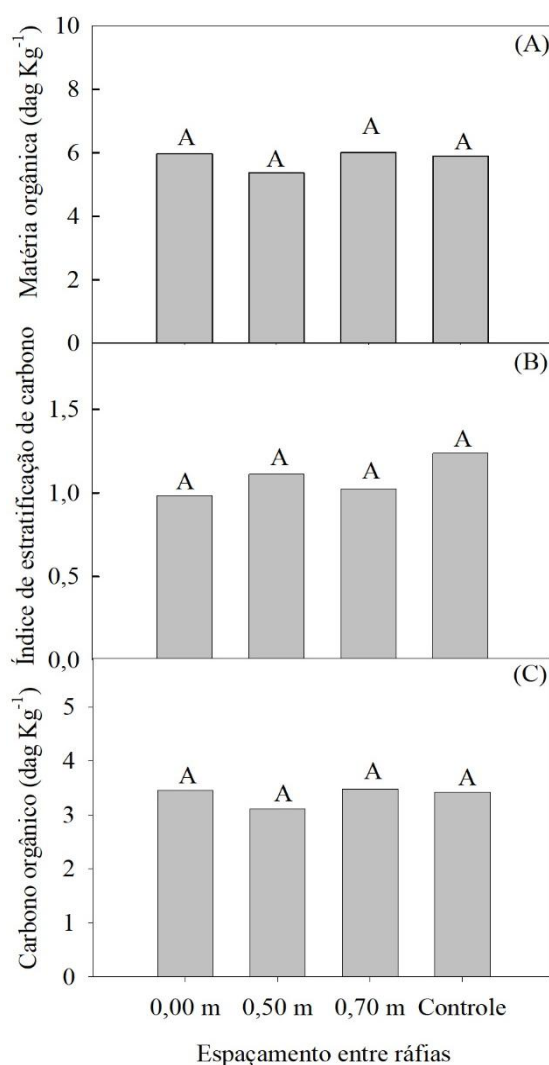
FIGURA 7. Umidade do solo na profundidade de 0-0,20 m (A) e em 0,20-0,40 m de profundidade (B) em função dos espaçamentos entre as ráfias. Coeficiente de variação (CV). CV (A): 5,37%; CV (B): 7,05%.

Fonte: A autora (2025).

Liu *et al.* (2023) relatam que o uso de cobertura plástica de polietileno na superfície do solo proporciona maior retenção de água nas camadas superficiais, e Gu *et al.* (2024) comprovaram aumento de 3,41% no teor de umidade do solo nas camadas superficiais. Porém, o uso da rafia não apresentou melhoria na retenção de água no solo, provavelmente

por se tratar de um material mais poroso quando comparado ao polietileno, o que proporciona maiores possibilidades de evaporação da água.

Não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) entre os tratamentos para o teor de matéria orgânica (Figura 8A), índice de estratificação do carbono (Figura 8B) e para o carbono orgânico (Figura 8C), apresentando, respectivamente, média geral de 5,81 dag Kg⁻¹, 1,09 IEC e 3,37 dag kg⁻¹ de carbono orgânico.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 8. Matéria orgânica presente na camada de 0-0,10 m de profundidade (A), índice de estratificação do carbono (B) e carbono orgânico do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade (C) em função dos espaçamentos entre as ráfias. Coeficiente de variação (CV). CV (A): 9,25%; CV (B): 2,16%; CV (C): 9,29%.

Fonte: A autora (2025).

Cuello *et al.* (2015) verificaram que a cobertura com filme plástico aumenta a taxa de mineralização da matéria orgânica no solo e proporciona aumento do gás de efeito estufa (CH_4 , CO_2 e N_2O), em função do aumento de temperatura e umidade no solo, proporcionando atividade microbiológica mais intensa. Porém, com o uso da rafia, não se observa este padrão de resposta. Sugere-se que a porosidade do material deixa o solo mais exposto às variações de luz, temperatura e umidade e não favorece a atividade biológica no solo.

Valores de IEC acima de 1,00 indicam melhorias na qualidade do solo (Franzluebbers, 2002). O estoque de carbono no solo é influenciado diretamente com o modo e uso de práticas agrícolas (Santos et al., 2021). Por outro lado, quando comparado ao controle, a cobertura com rafia também não contribuiu de forma positiva para melhoria do conteúdo de carbono orgânico no solo, apresentando teor médio no solo de 3 dag kg^{-1} .

3.2 Avaliações dos parâmetros hídricos do solo

Foi identificada dissimilaridade entre os tratamentos na profundidade de 0,20 m, visto que a utilização de rafia espaçada em 0,50 m (T2) e 0,75 m (T3) apresentou comportamento similar de tensão de água no solo; porém, dissimilares quando comparados ao uso da rafia sem espaço (T1) e controle (T4) (Figura 9). Também foi identificada dissimilaridade entre as épocas de avaliação, sendo os meses de junho, agosto, novembro e dezembro de 2022 e janeiro, fevereiro e setembro de 2023 com tensões de água no solo similares e contrastantes em relação aos demais meses.

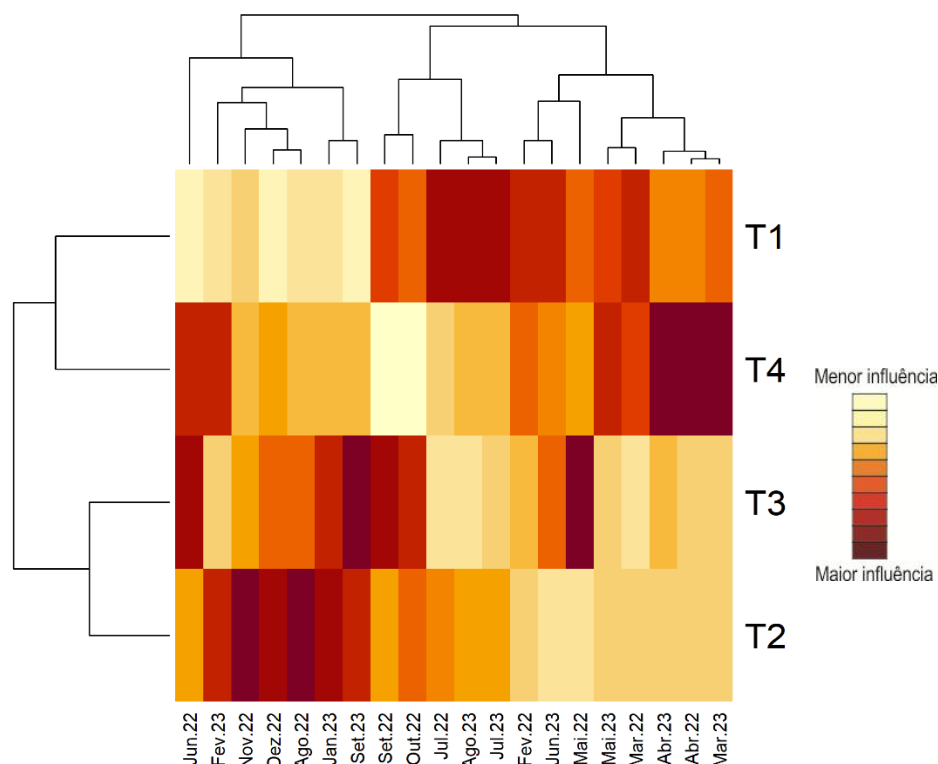


FIGURA 9. Tensão da água no solo na profundidade de 0,20 m em função dos espaçamentos entre as ráfias. T1: 0,00 m; T2: 0,50 m; T3: 0,75m e T4: Controle.
Fonte: A autora (2025).

Os tratamentos controle e sem espaçamento entre as ráfias apresentaram maiores tensões hídricas no solo em períodos mais prolongados na profundidade de 0,2 m (Figura 9). As épocas com maiores tensões foram de março a outubro, correspondente às estações de outono, inverno e início da primavera, caracterizadas pelo menor índice pluviométrico decorrente da ausência das chuvas.

Os tratamentos com 0,50 e 0,75 m de espaçamentos entre as ráfias apresentaram menores tensões hídricas no solo, principalmente no outono, provavelmente por estar próximo à estação chuvosa, apresentando maior retenção hídrica por período mais prolongado. O espaçamento utilizado entre as ráfias pode ter facilitado a absorção da água da chuva, proporcionando, assim, menores tensões (Figura 9).

Na profundidade de 0,4 m, também houve dissimilaridade entre os tratamentos. O T1 e T4 apresentaram maiores tensões de água no solo quando comparados ao T2 e T3 (Figura 10). Houve diferenciação entre as épocas de avaliação, sendo os meses de setembro, novembro, outubro, novembro e dezembro de 2022, e janeiro, fevereiro, março e maio de 2023 com tensões hídricas no solo similares entre si e dissimilares às demais épocas de avaliação.

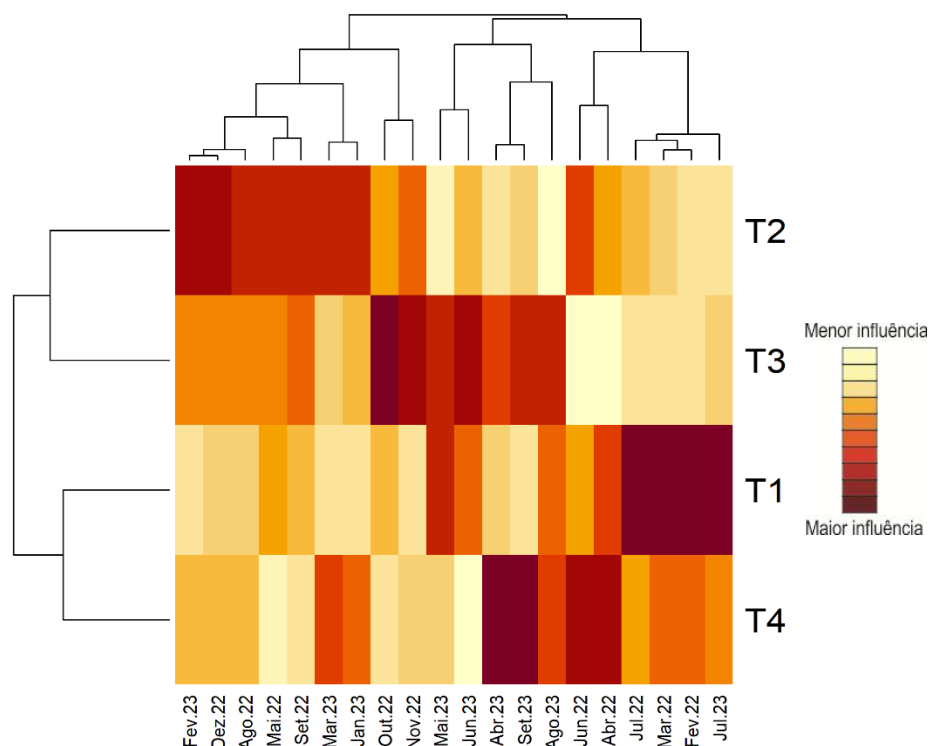


FIGURA 10. Tensão da água no solo na profundidade de 0,40 m em função dos espaçamentos entre as ráfias. T1: 0,00 m; T2: 0,50 m; T3: 0,75m e T4: Controle.

Fonte: A autora (2025)

Os tratamentos controle e sem espaçamento entre as ráfias apresentaram maiores tensões hídricas no solo em período mais prolongado na profundidade de 0,4 m (Figura 10). As épocas com maiores tensões de água no solo foram de fevereiro a julho de 2022 (fim do verão, outono e início do inverno) e de abril a setembro de 2023 (outono e inverno), sendo épocas caracterizadas por menor índice pluviométrico. Até no fim do verão de 2022, houve redução considerável no volume pluviométrico (Figura 2), proporcionando maior tensão da água no solo.

Os tratamentos com 0,50 e 0,75 m de espaçamentos entre as ráfias apresentaram menores tensões hídricas no solo, principalmente no fim do verão, outono e início do inverno (Figura 10).

Na profundidade de 0,60 m, também houve dissimilaridade entre os tratamentos. O uso da rafia sem espaçamento do ramo ortotrópico e o tratamento controle apresentaram maiores tensões de água no solo quando comparado à utilização da rafia espaçada em 0,5 m e 0,75 m (Figura 11). Houve diferenciação entre as épocas de avaliação, sendo fevereiro de 2022, e abril, maio, junho, julho e agosto de 2023 com tensões hídricas do solo similares e

dissimilares às demais épocas de avaliação. O mesmo comportamento foi observado nas profundidades de 0,40 m e 0,60 m.

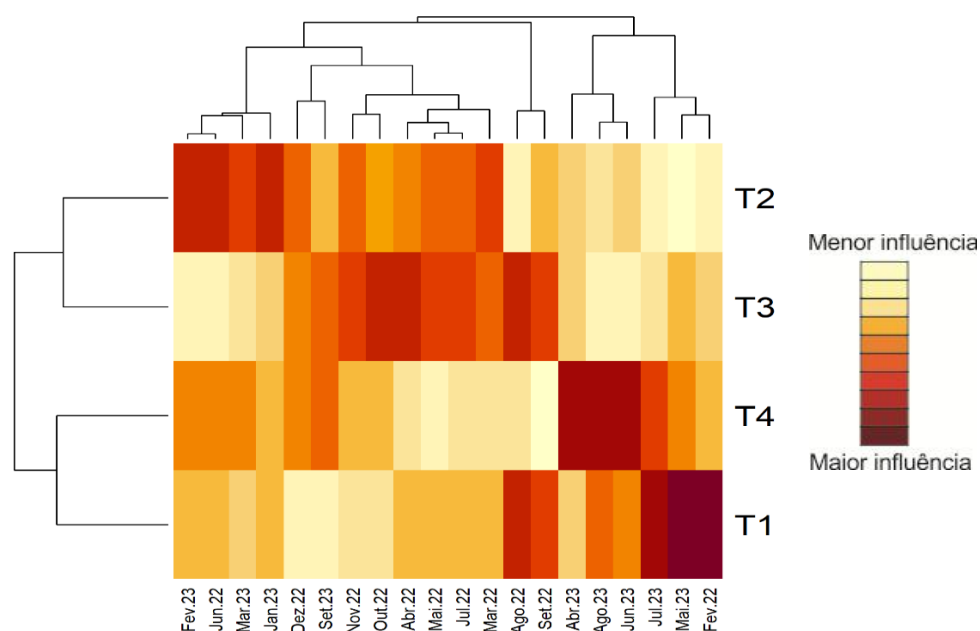
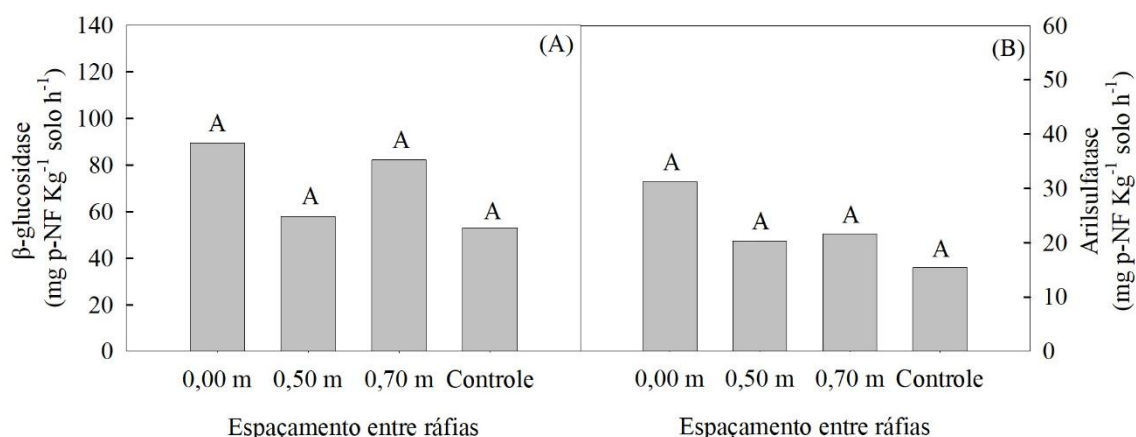


FIGURA 11. Tensão da água no solo na profundidade de 0,60 m em função dos espaçamentos entre as ráfias. T1: 0,00 m; T2: 0,50 m; T3: 0,75m e T4: Controle.

Fonte: A autora (2025)

3.3 Avaliações dos parâmetros biológicos do solo

Não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) para a atividade das enzimas beta-glicosidase (Figura 12A) e arilsulfatase (Figura 12B), apresentando média geral de 70,67 mg p-NF kg⁻¹solo h⁻¹ e 22,16 mg p-NF kg⁻¹solo h⁻¹, respectivamente. Mendes *et al.* (2019) relatam que em latossolos vermelhos argilosos da região do cerrado os níveis adequados de atividade das enzimas são de 67 a 116 mg p-NF kg⁻¹solo h⁻¹ para beta-glicosidase e 31 a 70 mg p-NF kg⁻¹solo h⁻¹ para a arilsulfatase. Desta forma, o solo da área experimental apresentou boa atividade da beta-glicosidase, porém, deve-se proporcionar melhorias no sistema de manejo para favorecer a atividade da arilsulfatase.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 12. Atividade das enzimas beta-glicosidase (A) e arilsulfatase (B) em função dos espaçamentos entre as ráfias. Coeficiente de variação (CV). CV (A): 49,21%; CV (B):19,51%.

Fonte: A autora (2025).

Com base na correlação do teor de matéria orgânica do solo e atividade enzimática específica média, verifica-se que o solo da área experimental encontra-se no quadrante amarelo, o que corresponde à baixa atividade biológica e solo com tendência à perda de qualidade (Figura 13). Nesta situação, o teor de matéria orgânica está com índice adequado (acima de 15,5 g kg⁻¹ solo), porém, a atividade enzimática está abaixo de 4,3 g p-NF kg⁻¹COS⁻¹, considerado o nível crítico (Chaer *et al.*, 2023).

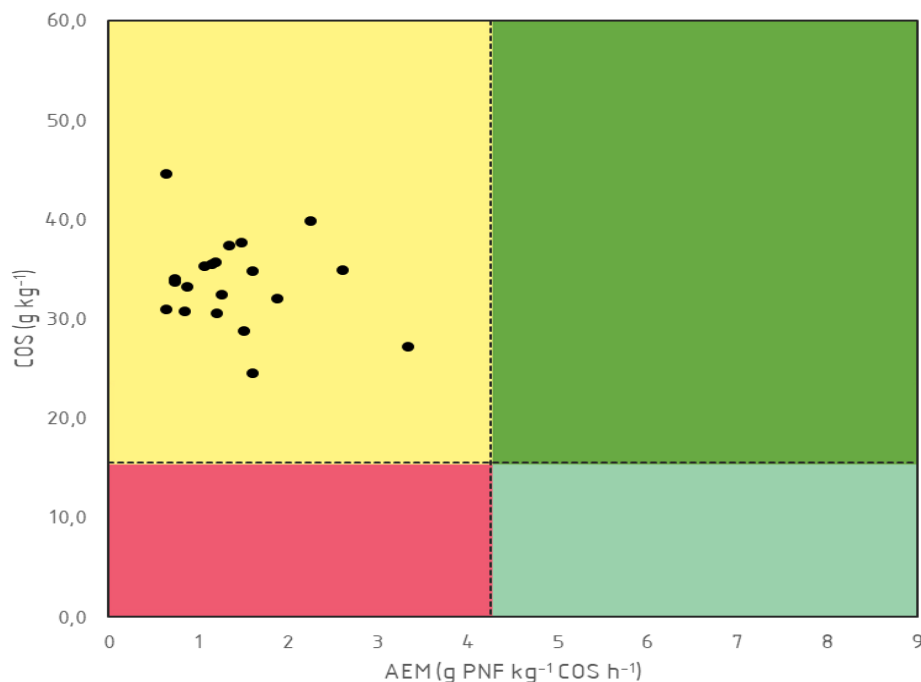


FIGURA 13. Amostras plotadas em modelo de quatro quadrantes que demonstram tendências da matéria orgânica do solo. Quadrante verde escuro: solo saudável (alta qualidade do solo, alta atividade biológica, alto teor de matéria orgânica); quadrante amarelo: solo adoecendo (solo perdendo qualidade, baixa atividade biológica, tendência de perda de matéria orgânica); quadrante vermelho: solo doente (baixa qualidade do solo, baixa atividade biológica, baixo teor de matéria orgânica); quadrante verde claro: solo se recuperando (solo ganhando qualidade, alta atividade biológica, tendência de acúmulo de matéria orgânica). COS: carbono orgânico do solo, AEM: atividade enzimática específica média.

Fonte: A autora (2025).

O uso da atividade enzimática foi selecionado como indicador de qualidade do solo por apresentar sensibilidade a curto prazo a mudanças de manejos, bem como sua associação com diferentes aspectos de ciclagem de nutrientes, facilidade de quantificação e baixo custo (Mendes *et al.*, 2021). A enzima beta-glicosidase está envolvida na conversão de celobiose em glicose, uma importante fonte de energia para as comunidades microbianas do solo (Deng e Popova, 2011). Já a arilsulfatase está envolvida na hidrólise de sulfatos de ésteres em sulfatos, sendo importante para a ciclagem do enxofre no solo (Klose *et al.*, 2011).

As atividades das enzimas beta-glicosidase e arilsulfatase apresentam boa correlação com o rendimento da cultura, pois onde há maior atividade enzimática, também ocorre maior biodiversidade de espécies de microrganismos benéficos ao solo (*Bacillus*, *Trichoderma*, *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*) e menor presença de organismos patogênicos de plantas (*Fusarium* e *Macrophomina*) (Chaer *et al.*, 2023).

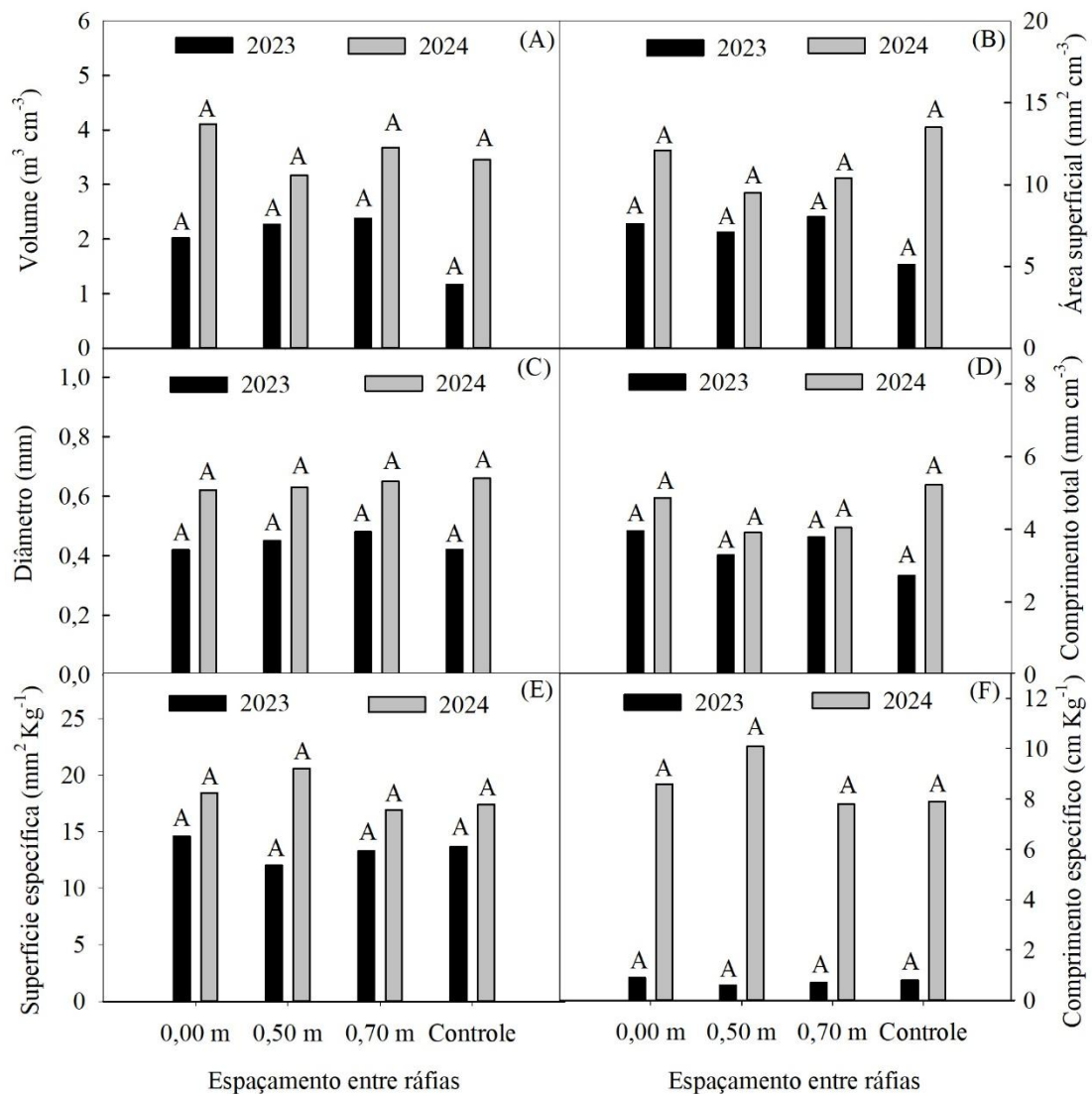
A atividade enzimática pode ser influenciada pela temperatura, pH e teor de matéria orgânica no solo (Silva *et al.*, 2021). Fu *et al.* (2023) relatam que a cobertura do solo com

plástico apresenta influência na atividade enzimática do solo, auxiliando no aumento de sua temperatura e umidade, que são condições favoráveis para intensificar a atividade enzimática, principalmente as decompositoras. Diante deste contexto, o uso da rafia não apresentou alteração nestes parâmetros, pois se manteve similar ao tratamento controle.

3.4. Avaliações da morfometria do sistema radicular do cafeeiro

Para os parâmetros volume (Figura 14A), área superficial (Figura 14B), diâmetro (Figura 14C), comprimento total (Figura 14D), superfície específica (Figura 14E) e comprimento específico (Figura 14F), nas avaliações realizadas em junho de 2023 e abril de 2024, não foram detectadas diferenças significativas pelo teste F ($p>0,05$) entre os tratamentos.

As médias gerais no mês de junho de 2023 foram de $1,96 \text{ m}^3 \text{ cm}^{-3}$ de volume, $6,97 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-3}$ de área superficial, $0,44 \text{ mm}$ de diâmetro, $3,44 \text{ mm cm}^{-3}$ de comprimento total, $13,43 \text{ mm}^2 \text{ kg}^{-1}$ de superfície específica e $0,76 \text{ cm kg}^{-1}$ de comprimento específico. Já as médias gerais no mês de abril de 2024 foram de $3,60 \text{ m}^3 \text{ cm}^{-3}$ de volume, $11,38 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-3}$ de área superficial, $0,64 \text{ mm}$ de diâmetro, $4,52 \text{ mm cm}^{-3}$ de comprimento total, $18,31 \text{ mm}^2 \text{ kg}^{-1}$ de superfície específica e $8,61 \text{ cm kg}^{-1}$ de comprimento específico (Figura 14).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

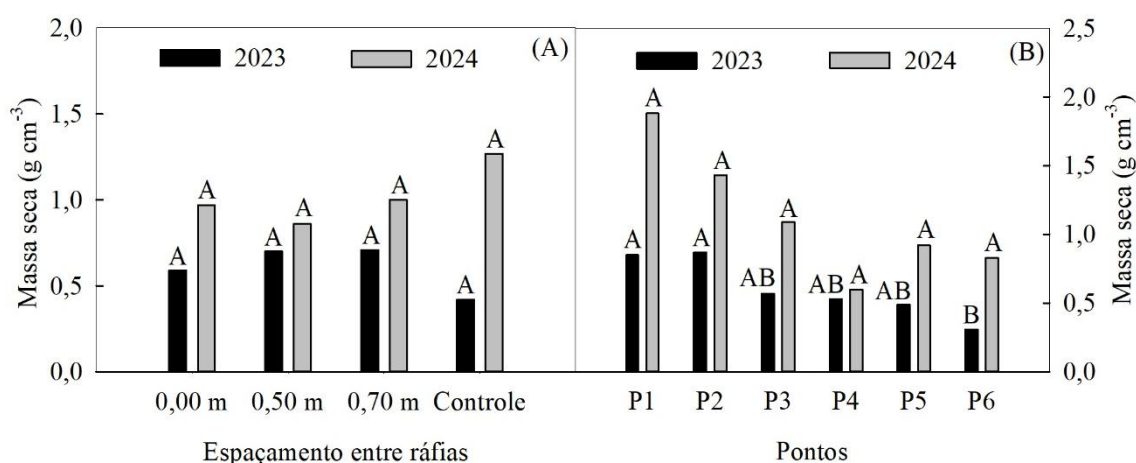
FIGURA 14. Volume total (A), área superficial (B), diâmetro médio (C), comprimento total (D), superfície específica (E) e comprimento específico (F) de raízes em função dos diferentes espaçamentos entre as râfias em junho de 2023 e abril de 2024.

Fonte: A autora (2025).

Zhang *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2022) relatam que em condições de estresse hídrico, o uso da cobertura plástica apresenta melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular, principalmente em comprimento e distribuição no perfil do solo. Já Hu *et al.* (2020), Zhang *et al.* (2021), Xin *et al.* (2023) e Song *et al.* (2024) afirmam que a cobertura do solo com plástico proporciona melhorias no ambiente da rizosfera, na biomassa das raízes, na distribuição espacial e temporal do sistema radicular, na absorção de nutrientes e, consequentemente, na produtividade. Porém, a utilização da rafia não apresentou diferenças

com relação ao controle, possivelmente pelo uso associado da rafia com a irrigação, minimizando o estresse hídrico da planta.

A massa seca das raízes não apresentou diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) entre os tratamentos. Já em relação aos pontos de coleta, não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) na avaliação realizada em abril de 2024. Porém, sob condições de solo mais seco (2023), houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0,05$) (Figura 15).



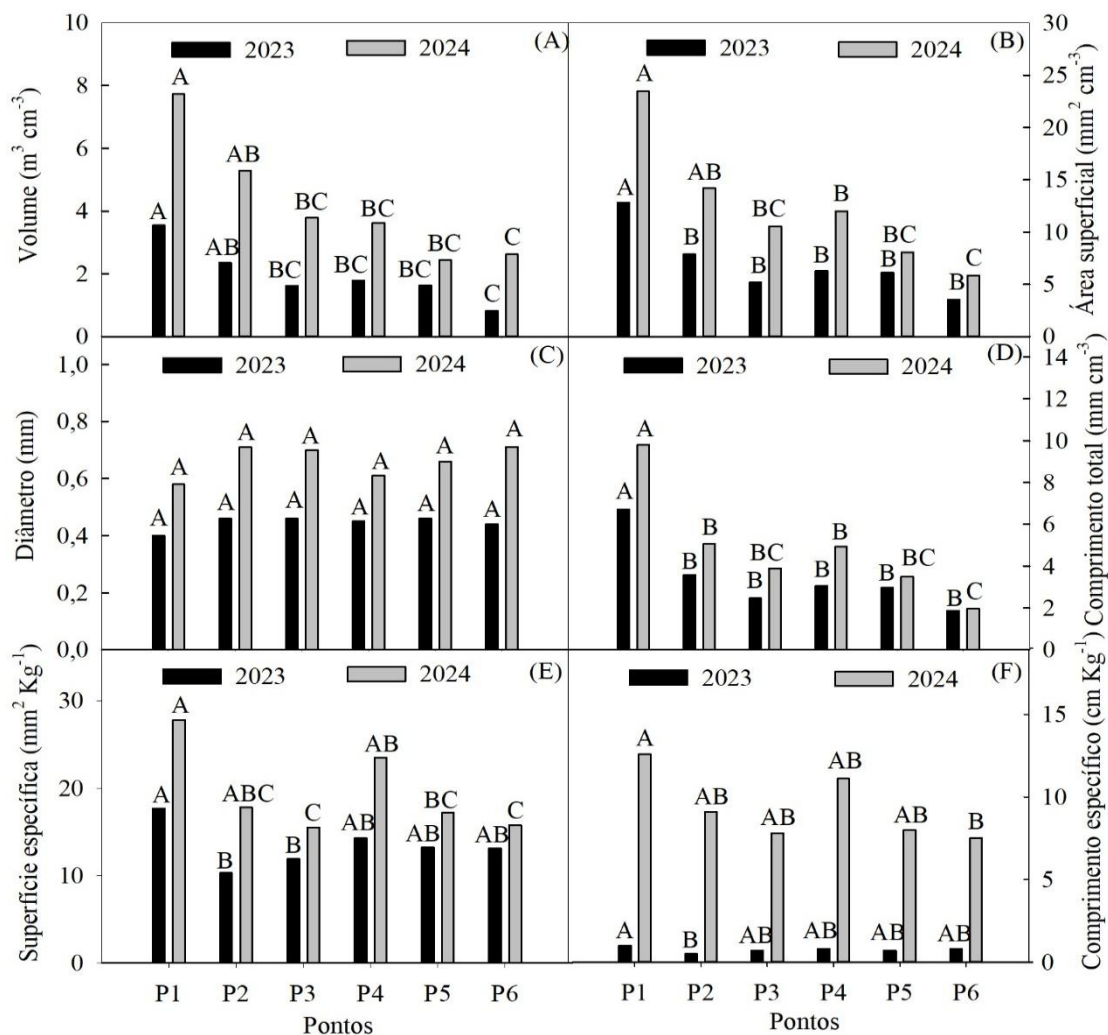
Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 15. Massa seca de raiz em função dos tratamentos (A) e entre pontos de coletas (B). P1: entre as plantas a 0-0,20 m de profundidade; P2: entre as plantas a 0,20-0,40 m de profundidade; P3: entre as plantas a 0,40-0,60 m de profundidade; P4: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0-0,20 m de profundidade; P5: a 0,4 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade; P6: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade.

Fonte: A autora (2025).

O ponto localizado entre as plantas de café e nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m apresentaram maior proporção de massa seca quando comparado ao ponto a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico na camada de 0,40-0,60 m. Observa-se que nas maiores profundidades e distâncias do ramo ortotrópico da planta ocorre redução considerável da massa seca.

Para os parâmetros de volume da raiz (Figura 16A), área superficial (Figura 16B), comprimento total (Figura 16D), superfície específica (Figura 16E) e comprimento específico (Figura 16F), em junho de 2023 e abril de 2024 houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0,05$) entre os pontos de amostragem. Já para diâmetro, não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

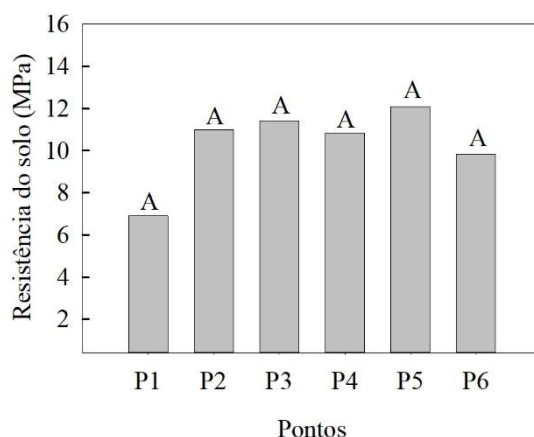
FIGURA 16. Volume total (A), área superficial (B), diâmetro médio (C), Comprimento total (D), superfície específica (E) e comprimento específico (F) de raízes em relação aos pontos de coletas. P1: entre as plantas a 0-0,20 m de profundidade; P2: entre as plantas a 0,20-0,40 m de profundidade; P3: entre as plantas a 0,40-0,60 m de profundidade; P4: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0-0,20 m de profundidade; P5: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade; P6: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade.

Fonte: A autora (2025).

Observa-se um padrão similar entre as variáveis volume de raiz, área superficial e comprimento total de raiz, verificando-se que nas maiores profundidades e distanciamento da planta ocorre redução nestes parâmetros em todas as épocas avaliadas. Sempre o ponto localizado entre as plantas e na camada de 0-0,20 m apresentou os maiores volumes (Figura 16A), área superficial (Figura 16B), comprimento total (Figura 16D), superfície específica (Figura 16E) e comprimento específico (Figura 16F) das raízes quando comparado aos demais

pontos. Já para o diâmetro das raízes, houve comportamento similar em ambos os pontos e épocas de análises (Figura 16C).

Não houve diferença significativa pelo teste F ($p>0,05$) entre os pontos de amostragem do experimento para a resistência do solo à penetração (Figura 17), apresentando média geral de 10 MPa.



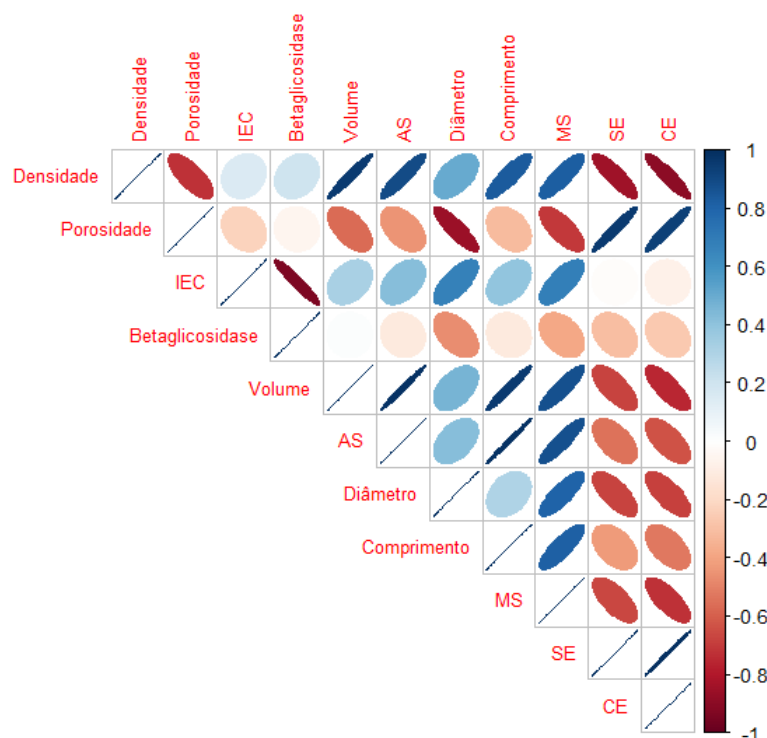
Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 17. Resistência do solo à penetração em relação aos pontos de coletas. P1: entre as plantas a 0,0-0,20 m de profundidade; P2: entre as plantas a 0,20-0,40 m de profundidade P3: entre as plantas a 0,40-0,60 m de profundidade; P4: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,0-0,20 m de profundidade; P5: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade; P6: a 0,40 m de distância do ramo ortotrópico a 0,20-0,40 m de profundidade. Coeficiente de variação (CV). CV: 9,84%.

Fonte: A autora (2025).

3.5 Matriz de correlação

Ocorreu uma correlação positiva entre algumas características analisadas (Figura 18). A densidade do solo apresentou correlação com o índice de estratificação de carbono e a atividade da enzima betaglicosidase. Alexandre *et al.* (2024) relataram correlação entre estes atributos, sendo que, quanto maior o teor de matéria orgânica e carbono orgânico, menor será a porosidade do solo, o que refletirá em menor densidade do solo.



IEC: Índice de estratificação do carbono; AS: Área superficial; MS: Massa seca; SE: Superfície específica; CE: Comprimento específico.

FIGURA 18. Matriz de correlação dos parâmetros físicos, biológicos e do sistema radicular do cafeeiro.

Fonte: A autora (2025).

Dentre os parâmetros das raízes, observa-se que houve correlação entre o volume, área superficial, diâmetro, comprimento total, massa seca e densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, melhores são as condições para o desenvolvimento radicular. Isso reflete em maior volume de raízes, maior área superficial, menor diâmetro e maior comprimento e quantidade de matéria seca, o que acarreta na melhor absorção de água e nutrientes pela planta (Zhang *et al.*, 2022).

A porosidade do solo influenciou o comprimento das raízes, área superficial, comprimento específico e superfície específica. Yu *et al.* (2018) relataram que a porosidade do solo proporcionou maior infiltração de água nele, o que refletiu em melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular.

Em futuros trabalhos, sugere-se o uso da rafia em áreas de sequeiro, com baixa capacidade de retenção de água, com maior potencial de utilização desta cobertura de polipropileno. Nas condições experimentais, o uso de irrigação via gotejamento proporcionou um ambiente mais favorável para a planta, diminuindo condições críticas que poderiam ter condicionado respostas ao uso da rafia.

4 CONCLUSÕES

A utilização da ráfia como cobertura de solo no manejo da lavoura cafeeira não influenciou no padrão natural de atributos físico-hídricos e biológicos do solo que resultem em alteração significativa no padrão morfométrico do sistema radicular.

O sistema radicular do cafeeiro está localizado em maior proporção entre as plantas e na camada de 0-0,2 m de profundidade. Há uma redução do sistema radicular do cafeeiro nas maiores profundidades e distância do ramo ortotrópico no sentido da entrelinha do cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU JÚNIOR, C.A.M. DE; MARTINS, G.D.; XAVIER, L.C.M.; VIEIRA, B.S.; GALLIS, R.B. DE A.; FRAGA JUNIOR, E.F.; MARTINS, R.S.; PAES, A.P.B.; MENDONÇA, R.C.P.; LIMA, J.V. DO N. Estimating Coffee Plant Yield Based on Multispectral Images and Machine Learning Models. **Agronomy**, v.12, p.3195, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12123195.
- AHMAD, S.; ZAHEER, M.S.; ALI, H.H.; ERINLE, K.O.; WANI, S.H.; IQBAL, R.; OKONE, O.G.; RAZA, A.; WAQAS, M.M.; NAWAZ, M. Physiological and biochemical properties of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different mulching and water management systems in the semi-arid region of Punjab, Pakistan. **Arid Land Research and Management**, v.36, p.181–196, 2022. DOI: 10.1080/15324982.2021.1943567.
- ALEXANDRE, D.; CARNIEL, L.S.C.; KRAFT, E.; ORTIZ, D.C.; CARNEIRO, M.C.; ROSA, V.M.D.; FILHO, L.C. IÚÑES O.; BARETTA, D. Forest systems, soil fauna, and soil features: how field management change this relationship? **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v.21, 2024. DOI: 10.24021/raac.v21i1.7306.
- BERTOLLO, A.M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.25, p.208–218, 2019. DOI: 10.36812/pag.2019253208-218.
- CAIXETA, L.G.; ASSIS, G.A.; NASCIMENTO, L.G.; FERNANDES, M.I. DOS S.; COTA, B.M.A.; SILVA, G.D.; NETO, R. DA S. Mulching de polietileno e fontes de adubo em cafeeiros: efeitos no teor de clorofila, produtividade e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v.11, p.e290111435993–e290111435993, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.35993.
- CHAER, G. M.; MENDES, I. C.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V.; REIS JUNIOR, F. B. DOS; OLIVEIRA, M. I. L. Evaluating C trends in clayey Cerrado Oxisols using a four-quadrant model based on specific arylsulfatase and β -glucosidase activities. **Applied Soil Ecology**, v.183, p.104742, 2023. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104742.
- CUELLO, J. P.; HWANG, H. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, S. Y.; KIM, P. J. Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation. **Applied Soil Ecology**, v.91, p.48–57, 2015. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.02.007.
- DE LA ROSA, J.M.; JIMÉNEZ-MORILLO, N.T.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J.A.; ALMENDROS, G.; VIEIRA, D.; KNICKER, H.E.; KEIZER, J. Mulching-induced preservation of soil organic matter quality in a burnt eucalypt plantation in central Portugal. **Journal of Environmental Management**, v.231, p.1135–1144, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.114.
- DENG, S.; POPOVA, I. Carbohydrate Hydrolases. Em: **Methods of Soil Enzymology**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2011. p.185–209. DOI: 10.2136/sssabookser9.c9.
- DUNG, T.V.; NGOC, N.P.; DANG, L.V.; HUNG, N.N. Impact of cover crop and mulching on soil physical properties and soil nutrients in a citrus orchard. **PeerJ**, v.10, p.e14170, 2022. DOI: 10.7717/peerj.14170.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuário. **The Vision-of-the-Future of Brazilian Agriculture**. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/The+vision+of+the+future+of+Brazilian+Agro.pdf/4271ad06-20ac-ee4a-ddbe-fe20d928c3b3> . Acesso: 22 de nov. 2023

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212p.

FAGUNDES, M.O.; REIS, D.A.; PORTELLA, R.B.; PERINA, F.J.; BOGIANI, J.C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. [s.l.] **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 281-297, 2019., 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0024.

FAN, Y.; YUAN, Y.; LI, T.; LIN, W.; TANG, X.; LIANG, G.; LI, N. Effects of autumn tillage with straw return on soil physical characteristics of corn fields in the eastern loess plateau. **Frontiers in Environmental Science**, v.12, 2024. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1362616.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; SANTANA, M. J. DE; SILVA, R. DE O.; DIAS, M. M. Use of organic fertilization with irrigation in coffee production in brazilian cerrado. **Revista Ambiente & Água**, v.15, p.e2578, 2020. DOI: 10.4136/ambi-agua.2578.

FONSECA, E.V. **Atividade enzimática como indicadora de qualidade do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) — Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, Conservation Tillage and Stratification of Soil Properties. v.66, p.95–106, 2002. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00018-1.

FU, F.; LONG, B.; HUANG, Q.; LI, J.; ZHOU, W.; YANG, C. Integrated effects of residual plastic films on soil-rhizosphere microbe-plant ecosystem. **Journal of Hazardous Materials**, v.445, p.130420, 2023. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130420.

GAO, X.; XIE, D.; YANG, C. Effects of a PLA/PBAT biodegradable film mulch as a replacement of polyethylene film and their residues on crop and soil environment. **Agricultural Water Management**, v.255, p.107053, 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107053.

GU, X.; YIN, R.; CAI, W.; CHEN, P.; CUI, K.; DU, Y.; LI, Y.; CAI, H. Residual plastic film decreases crop yield and water use efficiency through direct negative effects on soil physicochemical properties and root growth. **Science of The Total Environment**, v.946, p.174204, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174204.

HU, Y.; MA, P.; WU, S.; SUN, B.; FENG, H.; PAN, X.; ZHANG, B.; CHEN, G.; DUAN, C.; LEI, Q.; SIDDIQUE, K.H.M.; LIU, B. Distribuição espaço-temporal das raízes do trigo de inverno (*Triticum aestivum* L.) e eficiência do uso da água sob cobertura dupla de sulco e cumeeira. **Agricultural Water Management**, v.240, p.106301, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106301.

JAVED, A.; IQBAL, M.; SHEHZADI, R. Effect of Plastic Film and Straw Mulch on Wheat Yield, Water Use Efficiency and Soil Properties in Punjab, Pakistan. **Journal of Bioresource Management**, v.7, p.63–73, 2020. DOI: 10.35691/JBM.0202.0151.

KHORAMIZADEH, A.; JOURGHOLAMI, M.; JAFARI, M.; VENANZI, R.; TAVANKAR, F.; PICCHIO, R. Soil Restoration through the Application of Organic Mulch Following Skidding Operations Causing Vehicle Induced Compaction in the Hyrcanian Forests, Northern Iran. **Land**, v.10, p.1060, 2021. DOI: 10.3390/land10101060.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta** Memórias do Instituto de Botânica, 1979. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/1979/01/manual-de-edafologia-relacoes-solo-planta/>>. Acesso em: 15 out. 2024

KLOSE, S.; BILEN, S.; ALI TABATABAI, M.; DICK, W.A. Sulfur Cycle Enzymes. Em: **Methods of Soil Enzymology**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2011. p.125–159. DOI: 10.2136/sssabookser9.c7.

LAMBERT, R.A.; BARRO, L.S.; CARMO, K.S.G. DO; OLIVEIRA, A.M. DA S. DE; BORGES, A.A. Mulching é uma opção para o aumento de produtividade da melancia A. **Revista de agricultura neotropical**, v.4, p.53–57, 2017. DOI: 10.32404/rean.v4i1.1184.

LIU, Z.; ZHAO, C.; ZHANG, P.; JIA, Z. Long-term effects of plastic mulching on soil structure, organic carbon and yield of rainfed maize. **Agricultural Water Management**, v.287, p.108447, 2023. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108447.

MAHMOOD, A.B.; IBRAHIM, A.U.; ABUBAKAR, S.A.; MUSA, S.M. Influence of selected grass mulches on soil physical properties under sprinkler irrigation system. **Global Journal of Engineering and Technology Advances**, v.16, p.082–089, 2023. DOI: 10.30574/gjeta.2023.16.3.0180.

MARTINS, F.B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D.F. DOS; REBOITA, M.S. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60896.

MARTINS, H. DA S.; GUIMARÃES, T.E.P.; NOGUEIRA, T. **A Importância do Café na Economia do Sul de Minas**. 2022.

MENDES, I. DE C.; SOUZA, L.M. DE; SOUSA, D.M.G. DE; LOPES, A.A. DE C.; REIS JUNIOR, F.B. DOS; LACERDA, M.P.C.; MALAQUIAS, J.V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v.139, p.85–93, 2019. DOI: 10.1016/j.apsoil.2019.02.025.

MENDES, I. C.; SOUSA, D.M. G.; DANTAS, O. D.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I.; CHAER, G. M. Soil quality and grain yield: A win–win combination in clayey tropical oxisols. **Geoderma**, v.388, p.114880, 2021. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114880.

MINHAS, W.A.; MEHBOOB, N.; YAHYA, M.; REHMAN, H.U.; FAROOQ, S.; HUSSAIN, M. The Influence of Different Crop Mulches on Weed Infestation, Soil Properties and

Productivity of Wheat under Conventional and Conservation Production Systems. **Plants**, v.12, p.9, 2023. DOI: 10.3390/plants12010009.

MUBARAKA, R.; HUSSAIN, M.B.; TARIQ, H.; QAYYUM, M.; TARIQ, I. Mulches Effects on Soil Physical Properties i.e. Porosity, Aggregate Stability, Infiltration Rates, Bulk Density, Compaction. Em: AKHTAR, K.; ARIF, M.; RIAZ, M.; WANG, H. (Ed.). **Mulching in Agroecosystems: Plants, Soil & Environment**. Singapore: Springer Nature, 2022. p.41–58. DOI: 10.1007/978-981-19-6410-7_3.

NASCIMENTO, L.G. DO; ASSIS, G.A. DE; FERNANDES, M.I. DOS S.; CAIXETA, L.G.; CARVALHO, F.J.; MAZZIERO, B.G. Morphology of the coffee root system using polyethylene film. **Revista Ceres**, v.70, p.33–41, 2023. DOI: 10.1590/0034-737X202370040006.

NASCIMENTO, L.G. DO; ASSIS, G.A. DE; FERNANDES, M.I. DOS S.; PIRES, P. DOS S.; CARVALHO, F.J.; ARAÚJO, N.O. DE. Mulching na cafeicultura: efeitos na produtividade, maturação, formato dos grãos e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v.9, p.e765997727–e765997727, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7727.

NETO, A.S.; COELHO, A.P.; MORELLO, O.F.; LEMOS, L.B.; MINGOTTE, F.L.C. Doses de nitrogênio em cultivares de feijão-comum em sistema plantio direto recém-instalado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.10, p.075–083, 2022. DOI: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v10n1.salvadorneto.

QI, Y.; BERIOT, N.; GORT, G.; HUERTA LWANGA, E.; GOOREN, H.; YANG, X.; GEISSEN, V. Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties. **Environmental Pollution**, v.266, p.115097, 2020. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115097.

R Core Team (2019). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<https://www.R-project.org/>>.

REIS, E.M.; AZEVEDO, L.; REZENDE, M.L.; RIOS, G. DA S. Economic Viability of Converting From Conventional to Organic Coffee Cultivation in Southern Minas Gerais. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, p.e07508–e07508, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n1-196.

REYNOLDS; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131–146, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00228-8.

RIBEIRO, B. Indicador ambiental pegada hídrica como uma ferramenta para a gestão ambiental. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v.22, p.79–94, 2024.

RONCHI, C.P.; SOUSA JÚNIOR, J.M. DE; AMEIDA, W.L. DE; SOUZA, D.S.; SILVA, N.O.; OLIVEIRA, L.B. DE; GUERRA, A.M.N. DE M.; FERREIRA, P.A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.187–195, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000300001.

SABINO, B.T.S.; SILVA, P.L.F. DA; OLIVEIRA, F.P. DE; CAMPOS, M.C.C. Qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta:efeitos de 6 anos de implantação. **Revista Valore**, v.7, p.e-7026, 2022. DOI: 10.22408/rev7020221142e-7026.

SALOMÃO, P.E.A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A.A. DOS; MARTINS, A.C.E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v.9, p.e154911870–e154911870, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i1.1870.

SANTOS, T.M.D. DOS; OZÓRIO, J.M.B.; ROSSET, J.S.; BISPO, L.S.; FARIA, E.; CASTILHO, S.C. DE P. Estoque de carbono e emissão de CO₂ em áreas manejadas e nativa na Região Cone-Sul de Mato Grosso do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.14, p.339–354, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n2e7666.

SILVA, E.S.; LIMA, G.C.M.; PINTO, J.J.; MENEZES, A.S.; NETO, L.G.P.; MOREIRA, F.J.C. Frutos de coco seco em solo com e sem plástico de rafia - **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v.12, p.3139–3145, 2019 DOI: 10.7127/rbai.v12n7001019.

SILVA, J.M. **Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Uberlândia 2024.

SILVA, M. DE O.; SANTOS, M.P. DOS; SOUSA, A.C. DA P.; SILVA, R.L.V. DA; MOURA, I.A.A. DE; SILVA, R.S. DA; COSTA, K.D. DA S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, v.7, p.6853–6875, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-463.

SONG, Q.; ZHANG, F.; LI, X.; YUE, S.; LUO, Z.; LI, S. Understanding of maize root responses to changes in water status induced by plastic film mulching cultivation on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, v.301, p.108932, 2024. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.108932.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista brasileira de ciências do solo**, v.15, p.229–235, 1991.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. Em: **Methods of Soil Analysis**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 1994. p.775–833. DOI: 10.2136/sssabookser5.2.c37.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. **Soil Science**, v.65, p.487–493, 1948. DOI: 10.1097/00010694-194806000-00006.

VICENTE, M.R.; MANTOVANI, E.C.; FERNANDES, A.L.T.; NEVES, J.C.L.; FIGUEREDO, E.M.; DELAZARI, F.T. Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.41, p.72–80, 2017. DOI: 10.1590/1413-70542016411021316.

WANG, F.; LIU, Y.; LIANG, B.; LIU, J.; ZONG, H.; GUO, X.; WANG, X.; SONG, N. Variations in soil aggregate distribution and associated organic carbon and nitrogen fractions in long-term continuous vegetable rotation soil by nitrogen fertilization and plastic film

mulching. **Science of The Total Environment**, v.835, p.155420, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155420.

XIN, X.; SUN, Z.; XIAO, J.; BAI, W.; ZHANG, Z.; YAN, H. Efficient Utilization Mechanism of Soil Moisture and Nutrients with Ridge Film Furrow Seeding Technology of Sloping Farmlands in Semi-Arid and Rain-Fed Areas. **Agriculture**, v.13, p.1940, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13101940.

YU, B.; XIE, C.; CAI, S.; CHEN, Y.; LV, Y.; MO, Z.; LIU, T.; YANG, Z. Effects of Tree Root Density on Soil Total Porosity and Non-Capillary Porosity Using a Ground-Penetrating Tree Radar Unit in Shanghai, China. **Sustainability**, v.10, p.4640, 2018. DOI: 10.3390/su10124640.

ZHANG, L.; MENG, Y.; LI, S.; YUE, S. Film mulching optimizes the early root and shoot development of rain-fed spring maize. **Agronomy Journal**, v.112, p.309–326, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20039.

ZHANG, W.; LI, S.; SHEN, Y.; YUE, S. Film mulching affects root growth and function in dryland maize-soybean intercropping. **Field Crops Research**, v.271, p.108240, 2021. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108240.

ZHANG, X.; QI, J.; XU, J.; ZHOU, P.; CHEN, Z.; WANG, L.; GUO, M. Root Distribution and Soil Properties of Gully Heads and Their Effects on Headcut Migration in the Mollisols Region of Northeast China. **Land**, v.11, p.184, 2022. DOI: 10.3390/land11020184.