

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Manejo de plantas de cobertura sobre a qualidade do solo e o desenvolvimento
de cafeeiro arábica nas Matas de Minas**

Maciel Carlos Soares
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

MACIEL CARLOS SOARES

Manejo de plantas de cobertura sobre a qualidade do solo e o desenvolvimento de cafeeiro arábica nas Matas de Minas

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Raphael B. Alves Fernandes

Coorientadora: Adriene Woods Pedrosa

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S676m
2025

Soares, Maciel Carlos, 1997-
Manejo de plantas de cobertura sobre a qualidade do solo e desenvolvimento do cafeeiro arábica nas Matas de Minas / Maciel Carlos Soares. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (52 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 2025.

Referências bibliográficas: f. 43-52.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.439>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solos - Qualidade. 2. Cobertura do solo. 3. Plantas de cobertura - Manejo. 4. Café - Cultivo. I. Fernandes, Raphael Bragança Alves, 1969-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 631.4

MACIEL CARLOS SOARES

Manejo de plantas de cobertura sobre a qualidade do solo e o desenvolvimento de cafeeiro arábica nas Matas de Minas

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de março de 2025.

Assentimento:

Maciel Carlos Soares
Autor

Raphael Braganca Alves Fernandes
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 07/07/2025 às 17:16:53 e pelo orientador em 17/07/2025 às 10:50:02. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **GJEG.JVID.GXBO** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pelos desafios e oportunidades colocadas no meu caminho, que me possibilitaram chegar até este momento.

Agradeço a minha companheira, Nicole Lima pela ajuda incondicional nas coletas, nas análises e na escrita, pelo apoio, confiança e inspiração.

Agradeço ao amigo e parceiro de trabalho Nayron Vilela pelas incontáveis horas de trabalho durante todo o experimento, pelos momentos difíceis no sol e pelos momentos de comemoração e de “senso de dever cumprido”.

Aos meus pais, dona Eunice e seu Luiz pela vida, por terem cedido a área para condução do experimento e pelo apoio em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos e ao Departamento de Agronomia pelo fornecimento de toda estrutura para execução deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e aos colegas de mestrado pelas oportunidades e condições para minha evolução ao longo destes dois anos.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecimentos a AGRISUS – FEALQ pelo suporte financeiro para condução do projeto “Potencial de culturas de cobertura na sustentabilidade da cafeicultura nas Matas de Minas. (PA 3571/23)”.

Agradeço meu orientador, professor Raphael Fernandes por todo apoio, paciência e conhecimento compartilhado. Obrigado pela dedicação e disposição em mostrar “o caminho das pedras”, o que contribui para me tornar um profissional melhor do que quando iniciar este projeto.

Agradeço minha coorientadora, professora Adriene Pedrosa pela excelente orientação. Grato por todo aprendizado técnico e pela construção deste trabalho, pelos conselhos e pelo direcionamento sempre assertivo.

Aos membros da banca, professor Sebastián Montoya e professora Maristela Watthier pelo aceite em participar deste momento ímpar e pelas colocações pertinentes e construtivas.

Aos professores e profissionais que participaram direta ou indiretamente desse trabalho, professora Maristela Watthier, professora Raquel Barros, professor Ricardo Santos, os técnicos da EMATER Nayron Vilela e Deonir Dallpai.

Agradeço a Lorrany Garcia, por toda ajuda na condução do experimento, pela parceria nas coletas e análises, que possibilitou concluir com sucesso essa etapa. Agradecimento aos amigos e parceiros do Departamento de Agropecuária e Meio Ambiente de Coimbra que nunca mediram esforços para contribuir com este projeto, em especial o secretário Hudson Caio Martins, e Marcellly Gabrielly, José Eduardo, Nayara Santos, Enzo Jordan e Charlly Gladson. Também a Talita de Cássia e Cláudia Saraiva pelos conselhos oportunos.

A todos que, de alguma forma participaram e ajudaram na realização deste trabalho, meu sincero agradecimento!

RESUMO

SOARES, Maciel Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **Manejo de plantas de cobertura sobre a qualidade do solo e o desenvolvimento de cafeeiro arábica nas Matas de Minas.** Orientador: Raphael Braganca Alves Fernandes. Coorientadora: Adriene Woods Pedrosa.

O Brasil é o maior produtor de café do mundo, com destaque especial para Minas Gerais que é o estado de maior produção nacional. Um dos desafios da cultura é o manejo das plantas espontâneas nas entrelinhas do cafeeiro, que quando realizado de forma incorreta, pode potencializar impactos negativos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, resultando ainda em preocupantes taxas de erosão. Dentre os benefícios esperados do manejo das plantas de cobertura, destacam-se: aporte de serrapilheira, estímulo a microbiota do solo, aumento da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e controle da erosão. Neste cenário, este estudo tem por objetivo geral avaliar os efeitos de diferentes plantas de cobertura na qualidade do solo em sistema agrícola regenerativo implantado com a cultura do cafeeiro sob regime familiar nas Matas de Minas. Os objetivos específicos incluem: i) avaliar o grau de contribuição das diferentes plantas de cobertura para a melhoria do sistema de produção; ii) estudar a decomposição e disponibilidade dos nutrientes das diferentes plantas de cobertura para o cafeeiro; e iii) analisar o custo de controle de cada planta de cobertura baseado no seu respectivo manejo. Para isto, um experimento foi instalado em uma propriedade cafeeira familiar no município de Coimbra-MG, em delineamento em faixas, composto por quatro tratamentos com diferentes manejos das plantas de cobertura nas entrelinhas do cafezal: manejo com herbicida glifosate (HER), utilização de plantas espontâneas como plantas de cobertura (ESP), uso de *Urochloa ruzizienzes* (BRA), e uso de mix cafeeiro comercial composto por gramíneas e leguminosas (MIX), com cinco blocos dispostos ao longo da declividade. Foram avaliados fatores de desenvolvimento do cafeeiro como diâmetro do caule (DC), altura de plantas (AP), número de nós no ramo ortotrópico (NO), nos ramos plagiotrópicos (NP) e o comprimento dos ramos plagiotrópicos (CP) no início do experimento e 12 meses após sua instalação. No solo, para as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, nas linhas e entrelinhas, foram avaliadas a química do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al e CTCe), carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e aspectos físicos, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), macro e microporosidade (Ma e Mi), porosidade total (PT), argila dispersa em água (ADA), condutividade hidráulica em meio saturado (CH). A resistência mecânica á penetração, bem como a umidade e temperatura

do solo foram avaliadas em quatro períodos distintos, caracterizando o período chuvosos e seco no início do experimento e após 12 meses. Os custos de cada manejo foram coletados de acordo com as operações realizadas. Os dados foram analisados no software SPEED Stat, considerando a significância de $p < 0,10$. A adoção de plantas de cobertura na cafeicultura de montanha demonstrou impactos relevantes na fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e custos de manejo. Não foram observadas alterações significativas no crescimento dos cafeeiros nem nos atributos químicos do solo, indicando que mudanças nesses parâmetros podem exigir um período mais prolongado de avaliação. A presença da braquiária e do consórcio de plantas (mix) promoveu maior acúmulo de potássio no solo, evidenciando o papel dessas coberturas na mobilização desse nutriente. O mix de plantas também apresentou melhores valores de pH e capacidade de troca catiônica (CTC), destacando seu potencial na melhoria do condicionamento químico do solo. Entretanto, tanto o mix quanto a braquiária apresentaram os maiores custos de manejo, devido à necessidade de investimento inicial em sementes e fertilizantes. Por outro lado, os menores custos foram associados ao uso de herbicidas e à manutenção das plantas espontâneas, o que ressalta o potencial dessas espécies espontâneas na cobertura do solo. Esse resultado também aponta para a necessidade de avaliar o uso do herbicida em conjunto com outros aspectos do manejo de cobertura, considerando a sustentab

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; plantas de cobertura; *Urochloa ruziziensis*; leguminosa; cafeicultura

ABSTRACT

SOARES, Maciel Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **Cover crop management on soil quality and the development of arabica coffee in the Matas de Minas.** Adviser: Raphael Braganca Alves Fernandes. Co-adviser: Adriene Woods Pedrosa.

Brazil is the world's largest coffee producer, with special emphasis on the state of Minas Gerais, which leads national production. One of the main challenges in coffee cultivation is the management of spontaneous plants in the interrows. When performed incorrectly, this practice can amplify negative impacts on the soil's physical, chemical, and biological attributes, leading to concerning erosion rates. Among the expected benefits of cover crop management are: litter input, stimulation of soil microbiota, increase in soil organic matter, nutrient cycling, and erosion control. In this context, the main objective of this study was to evaluate the effects of different cover crops on soil quality in a regenerative agricultural system under family farming conditions in the Matas de Minas region. The specific objectives were: (i) to assess the contribution of different cover crops to improving the production system; (ii) to study the decomposition and nutrient availability from the cover crops to the coffee plants; and (iii) to analyze the control cost of each cover crop based on its respective management. To this end, an experiment was conducted on a family-owned coffee farm in Coimbra, Minas Gerais, using a strip-plot design with four treatments involving different cover crop managements in the interrows: glyphosate herbicide application (HER), use of spontaneous plants as cover (ESP), use of *Urochloa ruziziensis* (BRA), and use of a commercial coffee mix composed of grasses and legumes (MIX), arranged in five blocks along the slope. Coffee plant development parameters such as stem diameter (SD), plant height (PH), number of nodes on the orthotropic branch (NO), number of nodes on the plagiotropic branches (NP), and length of the plagiotropic branches (PL) were evaluated at the beginning of the experiment and 12 months later. Soil evaluations were conducted at depths of 0–5 cm, 5–10 cm, and 10–20 cm, both within the rows and interrows, assessing chemical properties (pH, P, K, Ca, Mg, Al, and effective CEC), total carbon (TC), total nitrogen (TN), and physical attributes such as soil bulk density (Bd), particle density (Pd), macro- and microporosity (Mac and Mic), total porosity (TP), water-dispersible clay (WDC), and saturated hydraulic conductivity (Ks). Soil penetration resistance, moisture, and temperature were assessed in four different periods, representing rainy and dry seasons, at the beginning of the experiment and after 12 months. Management costs were recorded based

on the operations performed. Data were analyzed using SPEED Stat software, considering a significance level of $p < 0.10$. The adoption of cover crops in mountainous coffee cultivation showed relevant impacts on soil fertility, nutrient cycling, and management costs. No significant changes were observed in coffee plant growth or soil chemical attributes, suggesting that longer-term evaluations may be necessary to detect such effects. The presence of *Brachiaria* and the plant mix promoted higher potassium accumulation in the soil, highlighting their role in nutrient mobilization. The plant mix also showed higher pH and cation exchange capacity (CEC) values, reinforcing its potential to improve the soil's chemical condition. However, both the mix and *Brachiaria* incurred higher management costs due to the initial investment in seeds and fertilizers. Conversely, the lowest costs were associated with the use of herbicides and spontaneous vegetation, revealing the potential of these native species as ground cover. These findings also point to the need to assess herbicide use in conjunction with other cover crop management practices, considering the long-term sustainability of the production system.

Keywords: *Coffea arábica* L.; cover plants; *Urochloa ruzizensis*; legumes; coffee crops

SUMÁRIO

1	Revisão de Literatura.....	11
1.1	Importância da Cafeicultura	11
1.2	Manejo de Plantas Espontâneas na Cafeicultura	11
1.3	Importância das culturas de cobertura na cafeicultura.....	13
1.4	Hipótese	14
2	Objetivos.....	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	Material e Métodos.....	16
3.1	Características do local	16
3.2	Delineamento experimental	17
3.3	Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro	20
3.4	Avaliações do solo	20
3.5	Avaliações físicas do solo	22
3.6	Avaliações do custo das estratégias de manejo das plantas de cobertura	23
3.7	Análises estatísticas	24
4	Resultados	25
4.1	Desenvolvimento do cafeeiro	25
4.2	Avaliações do solo	26
4.3	Custo de manejo das plantas de cobertura	34
5	Discussão	34
5.1	Desenvolvimento do cafeeiro	34
5.2	Avaliações do solo	35
5.3	Custo de manejo das plantas de cobertura	40
5.4	Considerações de ordem prática	41
6	Conclusões.....	42
	BIBLIOGRAFIA	43

Introdução

A cafeicultura possui relevância na economia e geração de empregos a nível nacional, sendo também uma das principais culturas em Minas Gerais, sobretudo quando o assunto é agricultura familiar de montanha (Vilela *et al.*, 2010). Ragassi, Pedrosa e Favarin (2013) destacam que um dos aspectos cruciais para o sucesso da atividade é o manejo de plantas na entrelinha, que por décadas foi trabalhado mantendo-se o solo exposto e nos últimos anos têm migrado para manutenção da cobertura sobre o solo. O intuito é de evitar processos erosivos (Donagemma *et al.*, 2016), manutenção de palhada para redução da amplitude térmica e umidade do solo (Moraes *et al.* 2016), aporte de carbono, ciclagem de nutrientes e manutenção de microrganismos no solo (Melloni *et al.*, 2013).

Dessa forma, o estudo de diferentes estratégias de manejo das coberturas de solo na entrelinha do cafeeiro é fundamental para ampliação dos conhecimentos na área, bem como a organização de recomendações de manejo para os cafeicultores de montanha.

Os sistemas de manejo foram escolhidos por diferentes razões. A *U. ruziziensis* tem apresentado respostas satisfatórias no que se refere às melhorias na qualidade do solo, como proteção a erosão do solo (Hirata *et al.*, 2009), aumento da atividade biológica e diminuição das temperaturas do solo (Cook *et al.*, 2006 e Prando *et al.*, 2010), sendo ainda de fácil acesso aos agricultores da região. O manejo com herbicida objetiva servir de contraste à utilização de plantas de cobertura, sendo essa uma prática comum na cafeicultura da região, ainda que deixe o solo exposto boa parte do tempo. Na região, o uso de herbicidas é frequentemente associado a outros métodos de manejo como roçada e capina manual. O uso do mix de plantas de cobertura se justifica por ser uma alternativa recente que, em sendo composta por diferentes famílias de plantas, pode proporcionar componentes interessantes de biodiversidade e morfologia de raízes. Adicionalmente, esses produtos contam com leguminosas que fixam o N atmosférico trazendo benefícios e redução de custos de fertilizantes nitrogenados na lavoura. O tratamento com plantas espontâneas, por sua vez, representa uma condição comum dos produtores familiares da região, que basicamente conduzem a entrelinha com roçadas.

As duas posições estudadas têm por finalidade o melhor entendimento da interferência das diferentes estratégias de manejo na entrelinha do café para a recuperação e melhoria dos solos do sistema de produção convencional de café. As avaliações na linha do cafeeiro buscam entender o efeito de cada estratégia de manejo na dinâmica do solo, aporte de nutrientes e no desenvolvimento das plantas de café.

O intuito do estudo é entender quais potenciais benefícios a utilização de diferentes manejos de cobertura na entrelinha e linha do cafeeiro, nos atributos físicos e químicos do solo, bem como o no desenvolvimento do cafeeiro nas condições de cafeicultura familiar de montanha.

1 Revisão de Literatura

1.1 Importância da Cafeicultura

De acordo com o Sumário Executivo do Café (MAPA, 2024), a produção mundial de café em 2024 foi de 169,2 milhões de sacas de café beneficiado, em que o Brasil segue sendo maior produtor, seguido pelo Vietnã e Colômbia. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) aponta que o Brasil encerrou sua produção de café no ano de 2024 com 54,2 milhões de sacas de café beneficiado, valor 1,6% abaixo da produção do ano anterior (Conab, 2024).

O estado de Minas Gerais, atualmente o maior produtor nacional, alcançou a marca de 28,10 milhões de sacas, produção 3,1% menor em relação ao ano de 2023. A produção de café na região da Zona da Mata, Rio Doce e Central destaca-se como segundo lugar na produção do estado mineiro, o que se confirmou em 8,36 milhões de sacas em 2024, representando 29,7% da produção de Minas Gerais (Conab, 2024).

Dada a importância da cafeicultura para Minas Gerais e a busca pela consolidação de cafés finos no mercado nacional e global, foi criada a denominação de origem “Matas de Minas”, que inclui 64 municípios de Minas Gerais, dos quais 52 pertencem a Zona da Mata e 12 ao Vale do Rio Doce. As Matas de Minas ocupam 3% do território mineiro e respondem por cerca de 24% da produção de café no Estado. São mais de 36 mil cafeicultores, sendo que 80% possuem propriedades com área entre três e 20 hectares, sendo a maioria sendo de base familiar. A entidade “Matas de Minas” rege-se pela manutenção de três pilares na produção do café na região: a qualidade artesanal, a sustentabilidade natural da atividade e o desenvolvimento coletivo da região (Região Das Matas De Minas, 2021).

1.2 Manejo de Plantas Espontâneas na Cafeicultura

As plantas espontâneas na cafeicultura são um conjunto de vegetais que se instalam e desenvolvem nas linhas e entrelinhas do cafeeiro, e que podem afetar a longevidade e a

produtividade da lavoura. Se não houver o controle dessas plantas, as perdas na produção do cafeeiro podem variar entre 30 e 100% e que, o custo desse controle pode variar de 20 a 30% do custo de produção (Silva *et. al* (2007a)). Alcântara e Martins (2019) identificaram a menor produtividade do cafeeiro quando a controle do mato não foi realizado, em comparação com roçada, capina manual e uso de herbicidas. Matiello *et. al* (1991) também comenta sobre perdas na ordem de 20 a 40% na produtividade do cafeeiro. Esse efeito se dá uma vez que as plantas espontâneas, sobretudo em lavouras em formação, se aproveitam do espaço livre nas entrelinhas e linhas para se desenvolver, competindo por luz, água, nutrientes e dificultando práticas como a colheita (Ronchi *et al.*, 2003; 2007).

Fatores relacionados a diversidade da comunidade das espontâneas, como composição específica, densidade e distribuição, são determinantes no grau de interferência nas plantas cultivadas (Tyagi *et al.*, 2018). Canuto *et al.* (2023) também encontraram que a composição específica e a densidade das espécies são determinantes na interferência com o cafeeiro, afetando diretamente a produtividade. Como a comunidade das espontâneas nas áreas agrícolas é diversa, a adoção de apenas um método de controle torna-se pouco eficiente, haja vista que elas apresentam diferentes habilidades competitivas, elevada capacidade de propagação, desuniformidade no processo germinativo, facilidade de disseminação de propágulos e rápido desenvolvimento inicial, garantindo vantagem competitiva sobre a cultura do cafeeiro (Brighenti e Oliveira, 2011).

Por sua vez, Ragassi, Pedrosa e Favarin (2013) destacam que o conceito de “controle” das plantas espontâneas tem migrado ultimamente para “manejo” de plantas espontâneas, de forma que o objetivo não é mais evitar a presença das plantas, mas sim conviver com as mesmas e, adicionalmente, buscar se aproveitar de seus potenciais benefícios. Os principais benefícios das plantas espontâneas bem manejadas nos cafezais incluem a conservação e melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, ciclagem de nutrientes, redução da erosão do solo e abrigo para inimigos naturais de pragas e doenças que atacam o cafeeiro (Fontes e Gonsalves, 2009). Ainda segundo os autores, uma das estratégias empregadas atualmente é o controle cultural, que remete a aprimorar as características da cultura de interesse ou do sistema de cultivo para aumentar a capacidade competitiva do cafeeiro. Como prática no controle cultural das plantas espontâneas, o uso de plantas de cobertura vem se destacado nos sistemas agrícolas como prática conservacionista dos sistemas (EPAGRI, 2020).

1.3 Importância das culturas de cobertura na cafeicultura

As plantas de cobertura se apresentam como a matéria prima aporte de serrapilheira e subsequente formação e construção da matéria orgânica do solo que, por sua vez, é fundamental para estruturação, retenção de umidade e aumento da porosidade do solo (EPAGRI, 2020). Não se limitando apenas a estes benefícios, as plantas de cobertura também contribuem para a redução dos níveis de erosão no solo, retenção de nutrientes no sistema (Steenwerth e Belina, 2008), bem como controle das plantas daninhas locais, reciclagem de nutrientes, aporte de carbono e nitrogênio, e melhoria da estrutura do solo, estimulando a formação de agregados pelas raízes (Resck *et al.*, 2008). Tiecher (2016) ressalta a contribuição das plantas de cobertura para o aumento da diversidade, estabilização da produção agrícola, aporte e construção de carbono orgânico no solo e nitrogênio no sistema.

Ceccon e Cocenço (2014) relatam que a estratégia de adotar plantas de cobertura nos sistemas produtivos deve primar pela substituição de plantas de difícil controle presentes na área por plantas de mais fácil controle. Neste sentido, diversas plantas de cobertura têm sido utilizadas para a formação de palhada no solo, destacando-se a família *Poaceae* (gramíneas) e *Fabaceae* (leguminosas).

As gramíneas apresentam maior relação C/N de sua biomassa, resultando em maior duração de seus resíduos no sistema (Boer *et al.*, 2008 e Carvalho *et al.*, 2006). No caso das leguminosas, a capacidade de fixação de N₂ atmosférico pela associação com bactérias (gênero *Rhizobium*) permite aportes no ciclo de nitrogênio no sistema (Aita *et al.*, 2001).

No que diz respeito as gramíneas, as do gênero *Urochloa* têm se destacado pela boa adaptação (Teles *et al.*, 2011), pelo seu fácil estabelecimento nos solos de baixa fertilidade e boa produção de biomassa (Timossi e Durigan e Leite, 2007). Dentre as braquiárias, a *U. ruziziensis* tem apresentado bons resultados como planta de cobertura na entrelinha do cafeeiro, com características capacidade de adaptação ao sistema produtivo e produção de matéria seca para formação de palhada após o corte (Marcolini *et al.*, 2009 e Fialho *et al.*, 2010). Os mesmos autores salientam também a facilidade de controle da *U. ruziziensis* em relação às espécies *Urochloa brizantha* e *Urochloa decumbens*, uma vez que pode ser facilmente controlada com produtos químicos. Além disso, a *U. ruziziensis* apresenta elevada relação C/N (41/1), característica que lhe confere maior permanência de resíduos no sistema, favorecendo a cobertura do solo (Menezes e Leandro, 2004). Pedrosa (2013) observou que a biomassa da braquiária sob a copa das plantas de café nos meses secos, reduz cerca de 40% da perda de água e que a ciclagem do N é mais intensa após os 30 dias de rebrota da braquiária. Outro aspecto

importante é a altura de corte das plantas para promover maior cobertura do solo e fornecimento de nutrientes para o sistema, sem comprometer o manejo e desenvolvimento do cafeeiro, de forma que Rocha (2014) e Borges (2018) descrevem que a altura ideal para corte da *U. ruziziensis*, visando o maior acúmulo de matéria seca, é de 0,50.

O uso de plantas de cobertura também pode oferecer riscos para o cafeeiro, sobretudo para as lavouras em formação. Ragassi, Pedrosa e Favarin (2013) alertam para no uso de plantas mais agressivas como a braquiária, especial atenção deve ser dada à distância do cafeeiro, bem como à relação C/N do material, e ainda, que nas adubações deve ser previsto N necessário para a decomposição desse material. Por outro lado, plantas com baixa relação C/N como as leguminosas, apresentam rápida decomposição de seus resíduos e podem deixar o solo desprotegido num curto período (Silva *et al.*, 2006).

Os herbicidas são amplamente utilizados na cafeicultura para controle das plantas espontâneas, seja pelo menor custo, facilidade de aplicação ou rapidez no controle das plantas. No entanto, sua utilização na cafeicultura pode potencialmente causar danos nas plantas de café, encrostamento da camada superficial do solo, contaminação do solo e das águas, bem como aparecimento de plantas resistentes a esses agrotóxicos (Alcântara, 1997 e Alves e Pitelli, 2001).

Mais recentemente no mercado tem aparecido a opção de uso de mix de plantas de cobertura. Uma característica comum desses produtos é apresentar espécies contrastantes, o que pode contribuir com o controle da erosão do solo e proporcionar a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Ziech *et al.*, 2015). Entretanto, ainda poucos são os estudos com a utilização desses mix em pequenas propriedades com mão de obra essencialmente familiar e na cultura do cafeeiro.

1.4 Hipótese

O uso de plantas de cobertura favorece a construção da qualidade do solo do ponto de vista dos atributos químicos e físicos, e como consequência favorece o desenvolvimento do cafeeiro.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar diferentes estratégias de cobertura do solo implantado com a cultura do cafeeiro sob regime familiar nas Matas de Minas por um período de 12 meses.

2.2 Objetivos específicos

- i) avaliar o grau de contribuição das diferentes plantas de cobertura para a melhoria dos atributos físicos e químicos do solo;
- ii) estudar o efeito das plantas de cobertura no crescimento do cafeeiro;
- iii) analisar o custo de manejo de diferentes estratégias de cobertura na cultura do cafeeiro.

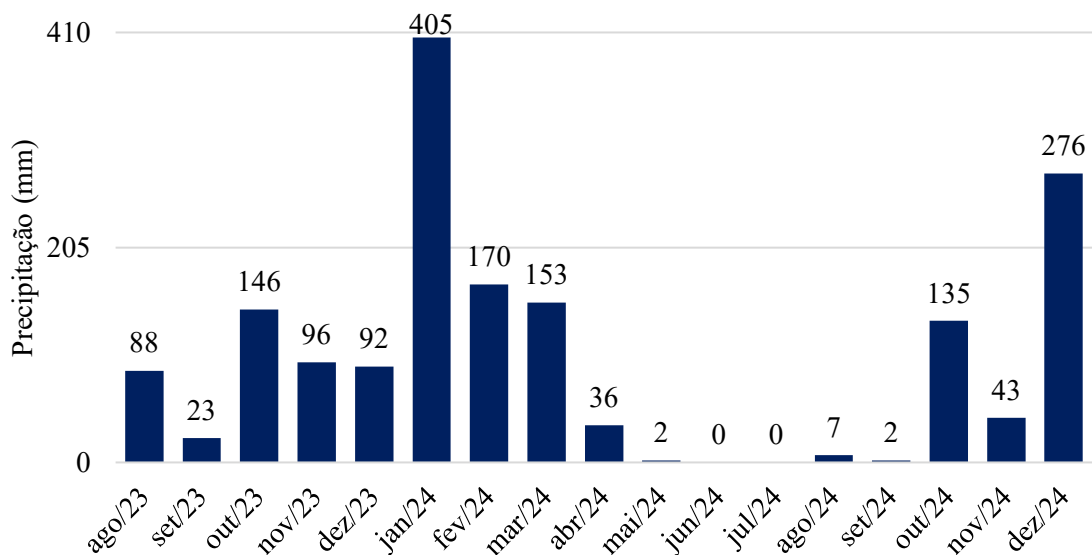
3 Material e Métodos

3.1 Características do local

O experimento foi conduzido em uma propriedade localizada na zona rural do município de Coimbra-MG, nas coordenadas 20°52'13,15" S e 42°44'14,63" W, no período de setembro de 2023 a janeiro de 2025. A altitude média da propriedade é de 812 metros, sendo o clima predominante o Tropical de Altitude, com a temperatura média anual de 20,5 °C e pluviosidade média anual de 1.363 mm (CLIMATEMPO, 2021).

Para fins de caracterização da precipitação durante o período de avaliação do experimento, essa informação foi coletada através do pluviômetro Multitec® instalado na propriedade (Figura 1).

Figura 1. Precipitação (mm) na propriedade durante a condução do experimento, entre agosto de 2023 e dezembro de 2024, na propriedade onde foi instalado o experimento com diferentes manejos de cobertura de solo no cafeeiro.



A área experimental era formada por um cafezal com a variedade Arara que, no momento da instalação, apresentava aproximadamente um ano e oito meses de idade. O espaçamento de plantio adotado na área foi de 2,80 m x 0,80 m. A área total da lavoura foi de 0,90 ha, com um estande de aproximadamente 4.460 plantas/ha. Da área total, 0,20 ha e 440 plantas foram destinados ao experimento (Figura 2) na faixa mais homogênea em termos de solo, declividade e exposição do terreno.

Em setembro de 2023, antes da instalação do experimento, o solo da área experimental foi amostrado com o auxílio de um trado tipo sonda, nas linhas e entrelinhas, de forma aleatória, na profundidade de 0 a 20 cm, para fins de caracterização de sua granulometria. Desta forma, em set/2023, antes da instalação dos tratamentos, amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, que indicaram ser este um solo argiloso (59% de argila).

Figura 2. Localização da área da lavoura de café e da área experimental. Fonte: Google Earth, 2021. Elaboração própria.



3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em faixas, com cinco blocos dispostos no sentido perpendicular à declividade, seguindo um esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas os sistemas de manejo da cobertura e nas subparcelas duas posições no cafeeiro (Figura 2). As estratégias de cobertura avaliadas foram: manejo com herbicida glifosate (HER), utilização de plantas espontâneas como plantas de cobertura (ESP), uso de *Urochloa ruzizienzes* (BRA), sendo o mix cafeeiro comercial composto por gramíneas e leguminosas (MIX) (Figura 3). Para cada sistema de cobertura foram realizadas as avaliações de química e física do solo (descritas à frente) nas posições linha e entrelinha do cafeeiro e em três profundidades (0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm).

Para o início dos tratamentos, a área foi capinada manualmente com a limpeza total do terreno. O mix comercial adquirido apresenta a seguinte composição: Crotalária (*Crotalaria ochroleuca e spectabilis*), Feijão-guandu (*Cajanus cajan*), Milheto (*Pennisetum glaucum*), Nabo-forageiro (*Raphanus sativus*), Crambe (*Crambe abyssinica*) e Trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*) (MIX). O tratamento com plantas espontâneas foi conduzido apenas com roçadas, sendo considerado o manejo tradicional dos agricultores da região. No tratamento com uso de herbicidas foi utilizado o herbicida cujo princípio ativo é o glifosate, na dose de 0,67 litros por hectare de ingrediente ativo, aplicado através de bomba costal manual em duas aplicações durante o tempo de experimento, em outubro de 2023 e outubro de 2024. Cabe ressaltar que a aplicação foi realizada com o máximo de cautela e em condições ideais para evitar a deriva. Para os tratamentos BRA e MIX, as plantas de cobertura foram semeadas em seis linhas por parcela (três linhas de cada lado da linha de café) dentro dos 1,80 m disponíveis, com adubação adequada a cada cobertura semeada em acordo com a 5ª Aproximação (ribeiro *et al.*, 1999).

Na linha de café, depois de desconsideradas cinco plantas na bordadura nas extremidades das parcelas, as 12 plantas centrais foram consideradas úteis para as avaliações do solo, das quais quatro também foram destinadas às avaliações de crescimento do cafeeiro. Nas entrelinhas adotou-se uma área útil de 34,6 m², formada a partir de um polígono de 1,8 m de largura por 9,6 m de comprimento (12 plantas x 0,80 m de espaçamento entre elas) dos dois lados da planta e distantes 50 cm de cada lado da planta a partir do caule (Figura 3).

Figura 3. Croqui da área experimental do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo. Elaboração própria.



Figura 4. Detalhe da disposição dos tratamentos no cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura do solo.



As plantas de cobertura foram implantadas em outubro de 2023, após o início das chuvas. Cada tratamento foi manejado de acordo com suas próprias exigências. As plantas espontâneas (ESP) foram cortadas ao atingirem 30 cm de altura e rebaixadas até 10 cm do solo, enquanto a braquiária (BRA) foi cortada ao alcançar 50 cm e rebaixada a 10 cm do solo. Já o mix forrageiro (MIX) foi cortado a cada 90 dias e rebaixado a 10 cm do solo. Cabe ressaltar que no caso do MIX, após sucessivas roçadas, apenas as gramíneas rebrotavam, e as leguminosas não. Assim, para manter as características do tratamento, a cada ciclo de três cortes, as gramíneas foram dessecadas (com o mesmo herbicida e dosagem adotados no tratamento com herbicida (HER)) e o mix forrageiro foi ressemeado. Depois de cada corte, os resíduos das plantas de cobertura foram direcionados para as linhas úteis do cafeeiro, de forma a avaliar a contribuição da parte aérea das coberturas para a nutrição e desenvolvimento do cafeeiro, bem como os atributos físicos, químicos e biológicos do solo na linha do cafeeiro. Esse é uma prática recomendada para este tipo de estratégia de manejo das entrelinhas do cafeeiro. As roçadas foram realizadas com roçadeira costal motorizada, enquanto o herbicida foi aplicado com bomba costal manual de 20L e os resíduos foram direcionados para a linha do cafeeiro de forma manual com o auxílio de um rastelo de jardinagem.

3.3 Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro

Para avaliação do desenvolvimento das plantas de café foram realizadas avaliações fitotécnicas a cada três meses (set/2023, dez/2023, mar/2024, jun/2024, set/2024 e dez/2024) para obtenção da curva de crescimento, conforme descrito abaixo:

- Diâmetro do caule (DC), medido com uso de um paquímetro digital It-Blue® a 5 cm do solo;
- Altura de planta (AP), mensurada da base do solo ao ápice, com uma trena milimetrada;
- Número de nós no ramo ortotrópico (NO);
- Média de dois ramos plagiotrópicos opostos (NP), previamente selecionados no terço médio da planta e marcados;
- Média do comprimento de dois ramos plagiotrópicos (CP), selecionados do ramo ortotrópico ao término do plagiotrópico, com trena milimetrada.

3.4 Avaliações do solo

O estudo em diferentes profundidades buscou tentar perceber os efeitos dos tratamentos, seja na camada de 0 a 5 cm, onde há maior dinâmica da atividade biológica, ou em camadas mais profundas, onde predomina a atividade do sistema radicular das plantas de cobertura e do cafeeiro. As profundidades não foram consideradas fontes de variação e, portanto, foram analisadas de forma independente.

Para a avaliação da qualidade química do solo foram feitas análises de rotina, como descrito por Ribeiro et. al. (1999), para se determinar os teores de K e P disponíveis; Ca, Mg e Al trocáveis; e acidez trocável (pH), além do cálculo da capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe). As amostras foram coletadas antes da instalação dos tratamentos (set/2023) e no mesmo período do ano seguinte (set/2024). As avaliações foram feitas em amostras de solo coletadas nas linhas e entrelinhas do cafeeiro, nas três profundidades estudadas. Após coletadas, as amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Rotina de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos (DPS-UFV).

A caracterização inicial da área experimental quanto a condição química do solo na entrelinha e linha do cafeeiro é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm do solo, nas entrelinhas e linhas do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo.

Profundidades	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	t
H ₂ O		----mg/dm ³ ----			----- cmol _c /dm ³ -----		
Entrelinha							
0-5 cm	5,1	4,0	324	2,0	0,7	0,3	4,0
5-10 cm	5,0	4,3	134	2,1	0,6	0,4	3,4
10-20 cm	4,8	4,1	187	1,7	0,5	0,5	3,2
Linha							
0-5 cm	5,1	4,0	303	2,0	0,7	0,3	3,4
5-10 cm	5,0	4,3	147	2,1	0,6	0,4	3,1
10-20 cm	4,8	4,1	160	1,7	0,5	0,5	3,3

Teores de acidez trocável do solo (pH) em H₂O. Teores de Fósforo (P) e Potássio (K) em mg/dm³. Teores de Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Alumínio trocável (Al³⁺) e CTC efetiva (t).

Para determinação das concentrações de carbono e nitrogênio totais foi utilizado o método de combustão a seco em analisador simultâneo elementar. As coletas de solo para essa análise foram realizadas em set/2023 e set/2024 nas linhas e entrelinhas do cafeeiro para as três profundidades estudadas. As amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Rotina de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos (DPS-UFV).

Para a determinação do estoque de carbono no solo foi considerada a seguinte equação (Veldkamp, 1994):

$$Est\ C = \frac{(CO \times Ds \times e)}{10},$$

onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹), CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹), Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³), e = espessura da camada considerada (cm).

A caracterização inicial quanto aos teores de carbono e nitrogênio totais e o estoque de carbono do solo na entrelinha e linha do cafeeiro são apresentados na Tabela 2.

O cálculo do estoque de carbono foi ponderado de acordo com as proporções da linha e da entrelinha da lavoura, visto que essas faixas ocupam áreas distintas. Para isso,

considerou-se a entrelinha com 1,80 metro de largura e a linha com 1,00 metro, totalizando 2,80 metros por faixa de cultivo. Com base nessa proporção, a entrelinha corresponde a aproximadamente 64% da área e a linha a 36%. Esses percentuais foram então utilizados para ponderar o estoque de carbono em cada profundidade e em cada posição amostrada.

Tabela 2. Teores de carbono (CT, g/kg) e nitrogênio (NT, g/kg) e cálculo do estoque de carbono (Estoque, t/ha), nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm, nas entrelinhas e linhas do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo.

Profundidades	Entrelinha			Linha		
	CT -----g/kg-----	NT	Estoque t/ha	CT -----g/kg-----	NT	Estoque t/ha
0-5 cm	2,41	0,148	8,4	2,59	0,158	5,3
5-10 cm	2,49	0,150	9,2	2,62	0,158	5,4
10-20 cm	2,51	0,150	18,4	2,60	0,154	10,7

3.5 Avaliações físicas do solo

Para a caracterização da qualidade física do solo foram analisados em laboratório: densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), condutividade hidráulica saturada (CH) e argila dispersa em água (ADA). As coletas para essas análises ocorreram em set/2023 e set/2024 nas linhas e entrelinhas de cada sistema de manejo, nas três profundidades 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm. Após coletadas, as amostras foram analisadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos (DPS-UFV). A Tabela 3 apresenta a caracterização física inicial da área do experimento.

Tabela 3. Caracterização física inicial do solo, nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm do solo, nas entrelinhas e linhas do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo.

Profundidade	Ds	Dp	PT	Ma	Mi	ADA	CH
	---g/cm ³ ---		----- cm ³ /cm ³ -----			g/g	mm/h
Entrelinha							
0-5 cm	1,09	2,52	0,57	0,14	0,29	0,168	4,8
5-10 cm	1,16	2,41	0,52	0,17	0,30	0,170	4,4
10-20 cm	1,14	2,42	0,53	0,16	0,32	0,124	4,2
Linha							
0-5 cm	1,15	2,44	0,53	0,16	0,31	0,158	9,5
5-10 cm	1,15	2,42	0,53	0,15	0,32	0,174	5,0
10-20 cm	1,14	2,41	0,53	0,15	0,32	0,167	4,0

Variáveis: Densidade do Solo (Ds), Densidade de Partícula (Dp), Porosidade Total (PT), Macroporos (Ma), Microporos (Mi), Argila Dispersa em Água (ADA) e Condutividade Hidráulica (CH).

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) até 40 cm de profundidade foi realizada em campo, na época de seca (set/2023 e set/2024) e de chuvas (dez/2023 e dez/2024) na região. A umidade do solo no momento da avaliação da RP foi mensurada com um equipamento TDR, no centro das camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Os dados obtidos foram sistematizados e analisados em planilha eletrônica Excel® disponibilizada pelo Departamento de Solo da Universidade Federal de Viçosa (DPS-UFV).

3.6 Avaliações do custo das estratégias de manejo das plantas de cobertura

Na contabilização dos custos de cada estratégia de manejo foi adotada a metodologia proposta por Matsunaga et. al (1976), pela qual as anotações dos dispêndios foram realizadas mensalmente de acordo com as operações realizadas pelo proprietário em cada um dos sistemas avaliados. Os custos considerados no estudo incluíram os investimentos iniciais com mão de obra, fertilizantes e sementes para a implantação das culturas de cobertura, bem como os custos

operacionais subsequentes, relacionados à mão de obra, consumo de combustível e aplicação de herbicidas durante a condução das diferentes estratégias de manejo. Os dados foram coletados a cada operação realizada, registrando-se as quantidades e os preços unitários de sementes, herbicidas, fertilizantes e combustível. O tempo de execução de cada atividade foi mensurado com o auxílio de um cronômetro de celular. Todas as informações foram organizadas em planilhas de campo e, posteriormente, os dados foram convertidos para unidades por hectare utilizando-se a ferramenta Microsoft Excel®.

3.7 Análises estatísticas

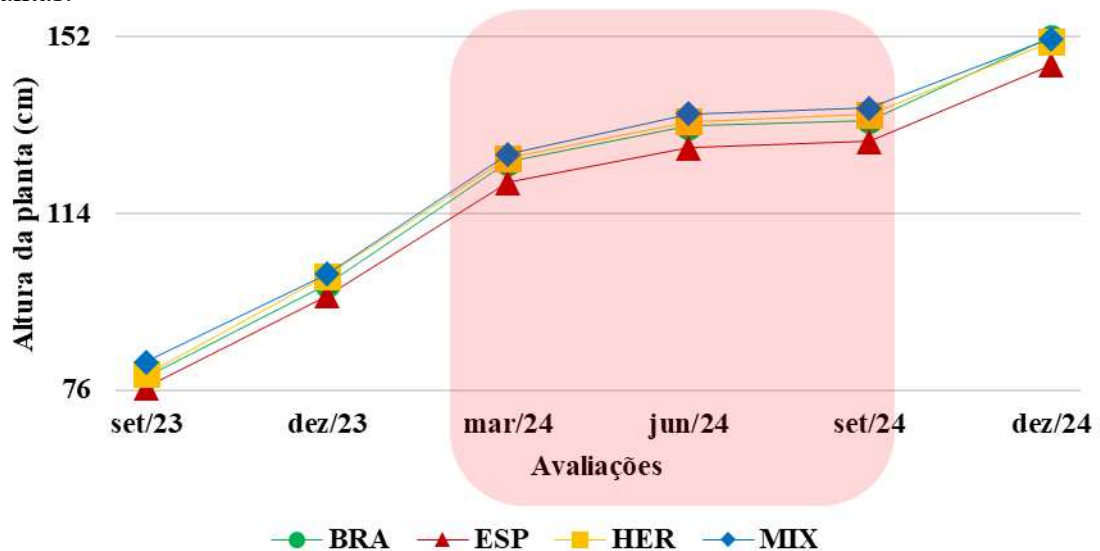
As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SPEED Stat (Carvalho *et al.*, 2020), adotando-se nível de significância de 10% ($\alpha = 0,10$). Quando aplicável, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade ($p < 0,10$). A normalidade dos resíduos foi avaliada por meio do teste de Jarque-Bera.

4 Resultados

4.1 Desenvolvimento do cafeeiro

A curva de crescimento do cafeeiro mostrou incrementos crescentes com o passar do tempo (Figura 5), de forma que os maiores níveis de crescimento ocorreram nos meses de set/23 a mar/24 e a partir de set/24, coincidindo com período chuvoso. Nos meses de mar/24 a set/24, representando os meses secos (faixa rosa no gráfico), a menor inclinação da reta reflete menor taxa de crescimento do cafeeiro nesse período.

Figura 5. Curva de crescimento do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura do solo, no período de setembro de 2023 a dezembro de 2024, com destaque para a época seca (faixa rosa). Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas.



Após 12 meses, não houve diferenças entre os tratamentos com estratégias de manejo diferenciado nas entrelinhas no cafezal para as variáveis associadas ao crescimento das plantas (Tabela 4).

Tabela 4. Variáveis associadas ao crescimento de cafeeiros em resposta à diferentes formas de manejo da entrelinha, após um ano de adoção dos tratamentos

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	NO -	CP (cm)	NP -
BRA	72,9	13,6	20,7	41,9	16,4
MIX	69,6	13,1	19,9	42,4	15,4
ESP	69,5	13,3	19,7	42,8	15,3
HER	71,4	15,9	19,9	43,4	14,9
CV (%)	10,3	13,8	9,3	13,4	11,5

Tratamentos: BRA: Braquiária, MIX: Mix de plantas, ESP: Espontâneas e HER: Herbicida. Variáveis: incremento em altura de plantas (AP, cm), diâmetro de caule (DC, mm), número de nós no ramo ortotrópico (NO), comprimento dos ramos plagiotrópicos (CP, cm) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (NP).

4.2 Avaliações do solo

Depois de um ano da implantação das estratégias de manejo da cobertura não se observaram efeitos dos tratamentos sobre nenhum dos atributos químicos avaliados nas entrelinhas do cafezal em nenhuma das profundidades consideradas (Tabela 5). Por outro lado, na linha do cafeeiro, diferenças foram verificadas entre tratamentos para as variáveis pH, K, Mg e CTCe em todas as profundidades. Na profundidade de 0 a 5 cm, houve diferenças para Al; e de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm, também para o Ca. O teor de P foi o único não afetado pelos tratamentos nas três profundidades (Tabela 5).

Tabela 5. Análise química do solo, nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm do solo, nas entrelinhas, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo

Profundidades	Tratamentos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CTCe
		H ₂ O	----mg/dm ³ ----		----- cmol _c /dm ³ -----			
Entrelinha								
0-5 cm	BRA	5,23	10,60	94,2	2,16	0,74	0,04	3,18
	MIX	5,35	8,24	79,8	2,51	0,84	0,15	3,71
	ESP	4,98	8,12	50,4	2,29	0,64	0,21	3,28
	HER	5,18	8,58	68,0	2,35	0,76	0,14	3,42
	CV (%)	4,88	43,53	39,64	31,33	30,63	137,83	23,47
5-10 cm	BRA	5,42	6,12	62,0	2,49	1,59	0,12	3,47
	MIX	5,46	5,64	55,6	2,78	1,84	0,31	3,85
	ESP	5,15	5,96	43,6	2,48	1,21	0,74	3,44
	HER	5,44	6,70	57,2	2,54	1,43	0,38	3,54
	CV (%)	5,66	28,56	29,54	26,16	47,13	144,93	21,29
10-20 cm	BRA	5,15	4,16	48,8	1,58	0,33	0,13	2,33
	MIX	5,24	4,46	41,2	2,04	0,38	0,22	3,01
	ESP	4,97	4,70	38,8	1,61	0,30	0,37	2,51
	HER	5,13	4,90	49,8	1,84	0,36	0,20	2,72
	CV (%)	4,19	25,93	27,44	26,62	20,49	77,35	19,19

Profundidades	Tratamentos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CTCe
		H ₂ O	----mg/dm ³ ----		----- cmolc/dm ³ -----			
Linha								
0-5 cm	BRA	5,51a	15,60a	433,0a	2,61a	0,75a	0,20b	3,95ab
	MIX	5,47a	16,34a	357,0a	2,96a	0,87a	0,30ab	4,17a
	ESP	4,96b	12,38a	137,6b	2,09a	0,42b	0,70a	3,02b
	HER	5,35a	14,68a	195,2b	3,08a	0,63ab	0,32ab	3,69ab
	CV (%)	3,94	37,17	26,27	38,41	28,08	71,11	16,97
5-10 cm	BRA	4,80b	7,94a	294,4a	0,90b	0,35b	0,40a	2,41b
	MIX	5,03a	9,16a	267,2a	1,49a	0,54a	0,35a	3,06a
	ESP	4,83b	9,48a	114,0b	1,43ab	0,35b	0,52a	2,59ab
	HER	4,92ab	9,40a	130,8b	1,33ab	0,34b	0,37a	2,38b
	CV (%)	2,31	31,55	24,17	26,52	26,2	38,56	13,15
10-20 cm	BRA	4,64b	5,96a	221,8a	0,80b	0,31b	0,49a	2,18b
	MIX	4,82a	6,10a	208,8a	1,20a	0,42a	0,43a	2,58a
	ESP	4,70ab	7,26a	104,6b	1,13ab	0,28b	0,55a	2,23b
	HER	4,75ab	6,10a	105,6b	1,02ab	0,26b	0,51a	2,06b
	CV (%)	2,22	27,57	28,30	23,54	19,21	35,88	9,67

Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas.

Variáveis: Teores de acidez trocável do solo (pH), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Alumínio trocável (Al³⁺) e CTC efetiva (CTCe).

Letras minúsculas iguais na coluna não indicam diferença entre médias de tratamentos pelo Teste Tukey (p<0,10).

Os teores de N total no solo avaliados ao final de um ano da instalação do experimento também não foram afetados pelas diferentes estratégias de manejo adotadas em nenhuma das posições e profundidades avaliadas (Tabela 6). Já os teores de C total e estoque de carbono foram influenciados na entrelinha de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm, e na linha apenas na camada de 10-20 cm de profundidade.

As variáveis associadas a qualidade física do solo, podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 6. Teores de carbono (CT) e nitrogênio total (NT) e de estoque de carbono do solo nas entrelinhas e linhas do cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo.

Profundidade	Tratamentos	CT	NT	Estoque	CT	NT	Estoque
		--g/kg--	--t/ha--		--g/kg--	--t/ha--	
Entrelinha				Linha			
0-5 cm	BRA	2,08a	0,03a	6,69a	2,19a	0,02a	4,27a
	MIX	2,81a	0,05a	9,56a	2,93a	0,05a	5,66a
	ESP	2,70a	0,04a	9,31a	2,79a	0,03a	5,29a
	HER	2,56a	0,06a	8,67a	2,77a	0,08a	5,52a
	CV (%)	18,02	77,73	21,89	23,02	77,69	22,64
5-10 cm	BRA	1,77b	0,01a	6,05b	2,17a	0,01a	4,80a
	MIX	3,03a	0,06a	10,32a	2,53a	0,04a	5,04a
	ESP	2,93a	0,05a	10,38a	2,69a	0,04a	5,42a
	HER	1,93b	0,03a	7,21ab	2,33a	0,05a	4,97a
	CV (%)	21,54	87,95	25,09	16,58	93,07	20,07
10-20 cm	BRA	1,85b	0,01a	13,50b	1,95b	0,02a	8,24b
	MIX	2,53ab	0,03a	18,65ab	2,43ab	0,04a	10,05ab
	ESP	2,81a	0,04a	21,00a	2,78a	0,04a	11,22a
	HER	2,21ab	0,05a	16,86ab	2,37ab	0,04a	9,56ab
	CV (%)	22,28	102,63	21,19	16,52	73,61	18,49

Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas. Médias de tratamentos com letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,10$).

Tabela 7. Atributos físicos do solo associado as variáveis estudadas no cafeeiro, cultivado com diferentes manejos de cobertura de solo

Profundidade	Tratamentos	Ds -----g/cm ³ -----	Dp	PT	Ma	Mi	ADA g/g	CH mm/h
Entrelinha								
0-5 cm	BRA	3,09	2,44	0,41	0,22	0,78	0,14	1,20
	ESP	3,54	2,42	0,44	0,29	0,71	0,13	0,78
	HER	3,61	2,43	0,44	0,31	0,69	0,13	1,00
	MIX	3,31	2,43	0,43	0,34	0,66	0,14	1,15
	CV (%)	24,34	1,74	7,74	36,65	15,16	26,03	65,41
5-10 cm	BRA	1,06	2,45	0,43	0,72	0,72	0,15	1,24
	ESP	1,06	2,43	0,44	0,70	0,70	0,15	1,09
	HER	1,11	2,40	0,46	0,70	0,70	0,15	0,49
	MIX	1,16	2,45	0,47	0,65	0,65	0,16	0,59
	CV (%)	8,05	2,33	7,96	14,86	14,86	20,89	65,57
10-20 cm	BRA	1,15	2,42	2,83	0,71	0,71	0,15	0,13
	ESP	1,16	2,36	3,09	0,65	0,65	0,15	0,21
	HER	1,17	2,42	2,92	0,67	0,67	0,16	0,27
	MIX	1,19	2,45	3,13	0,65	0,65	0,15	0,25
	CV (%)	5,14	3,03	17,85	11,41	11,41	22,24	56,07
Profundidade	Tratamentos	Ds -----g/cm ³ -----	Dp	PT	Ma	Mi	ADA g/g	CH mm/h
Linha								
0-5 cm	BRA	1,08	2,41	0,45	0,27	0,73	0,15	0,34
	ESP	1,07	2,37	0,45	0,32	0,68	0,17	0,76
	HER	1,06	2,44	0,44	0,28	0,72	0,14	0,93
	MIX	1,11	2,40	0,46	0,33	0,67	0,14	1,09
	CV (%)	6,44	2,09	6,37	27,21	11,86	28,14	70,11
5-10 cm	BRA	3,06	2,44	0,50	0,40	0,60	0,15	0,33
	ESP	2,47	2,42	0,46	0,31	0,69	0,16	0,58
	HER	2,43	2,40	0,46	0,33	0,67	0,14	0,50
	MIX	2,72	2,39	0,49	0,37	0,63	0,13	0,22
	CV (%)	16,69	2,69	8,30	19,99	10,89	37,81	100,77

10-20 cm	BRA	1,17	2,41	0,49	0,35	0,65	0,10	0,27
	ESP	1,12	2,40	0,48	0,29	0,71	0,16	0,20
	HER	1,12	2,38	0,47	0,32	0,68	0,12	0,34
	MIX	1,14	2,40	0,47	0,32	0,68	0,14	0,36
	CV (%)	2,45	2,26	7,28	30,79	14,26	63,89	103,29

Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas.
 Variáveis: Densidade do Solo (Ds), Densidade de Partícula (Dp), Porosidade Total (PT),
 Macroporos (Ma), Microporos (Mi), Argila Dispersa em Água (ADA) e Condutividade
 Hidráulica saturada (CH).

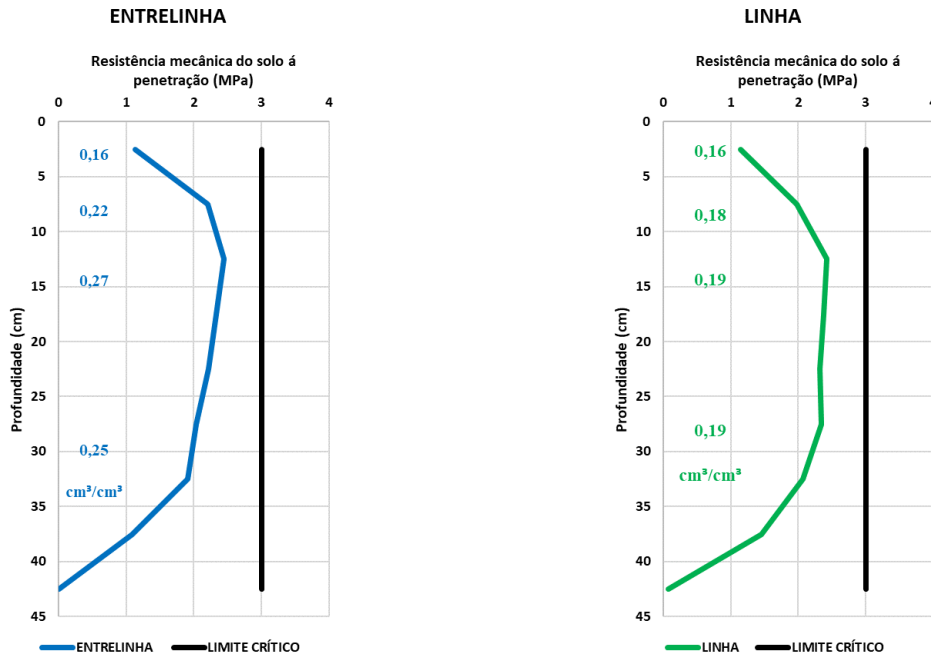
Médias de tratamentos com letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,10$).

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) e a respectiva umidade de cada camada são apresentadas, para o período seco na Figura 6 e chuvoso na Figura 7.

Figura 6. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) mensurado em dois anos consecutivos, na estação seca, nas entrelinhas e linhas de um cafezal submetido a diferentes formas de manejo da entrelinha.

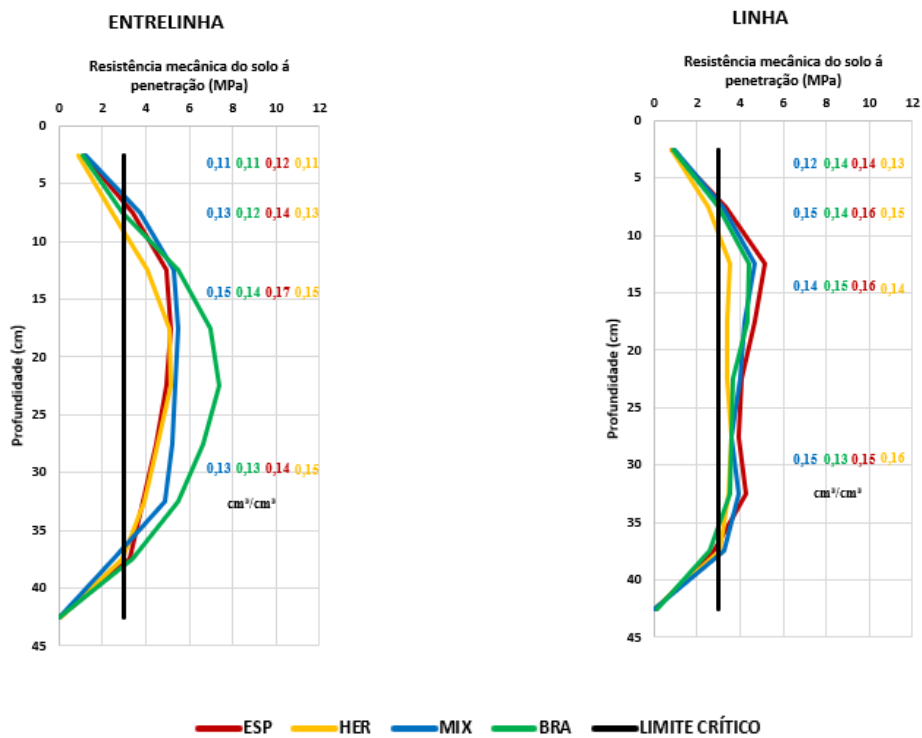
Setembro de 2023

(a)



Setembro de 2024

(b)

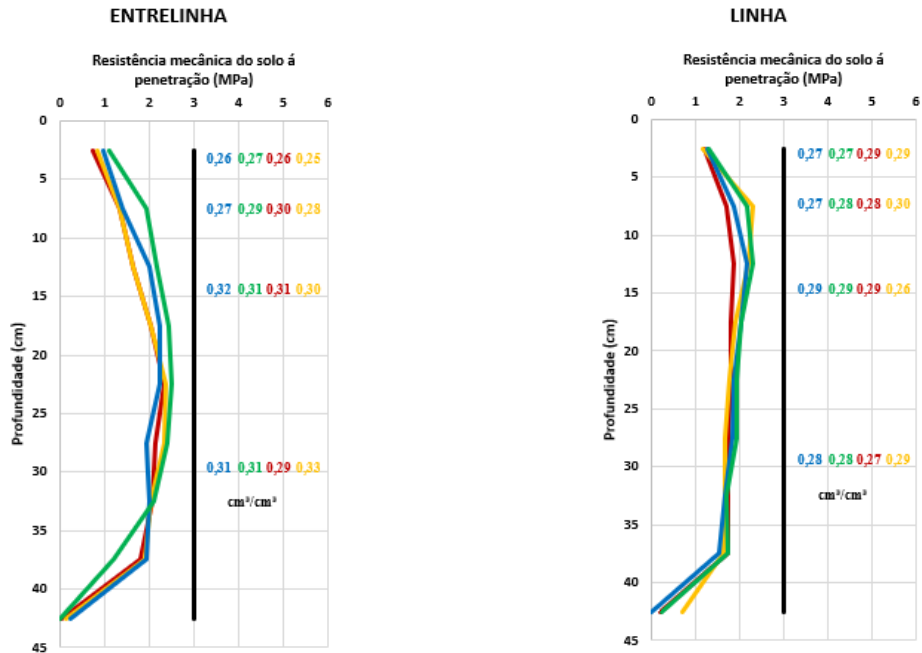


Valores indicados à esquerda dos gráficos(a) e a direita (b) indicam a unidade volumétrica observada nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas.

Figura 7. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) mensurado em dois anos consecutivos, na estação chuvosa, nas entrelinhas e linhas de um cafezal submetido a diferentes formas de manejo da entrelinha.

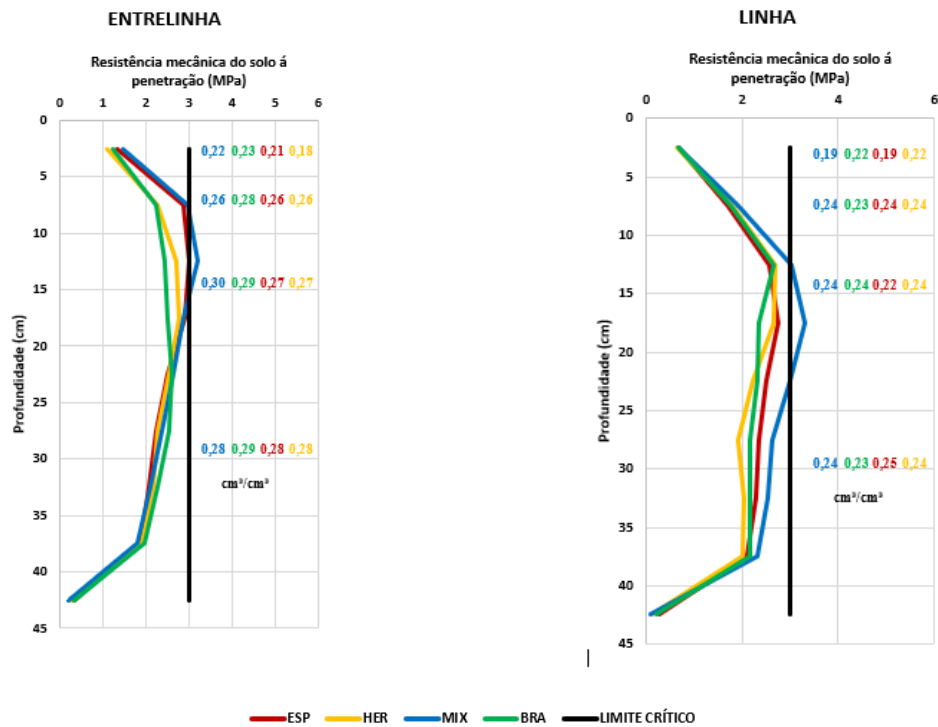
Dezembro de 2023

(a)



Dezembro de 2024

(b)

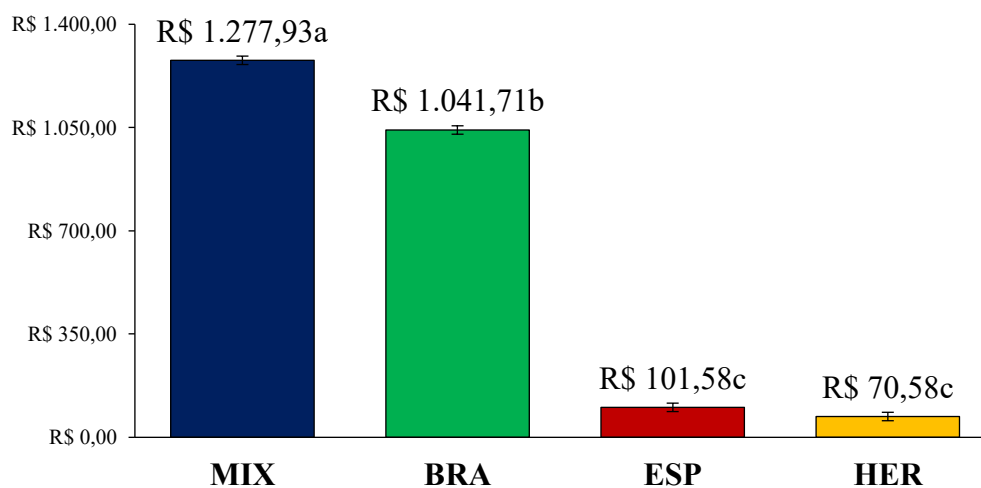


Os valores indicados à direita dos Gráficos indicam a umidade volumétrica observada nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Tratamentos: BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas, HER: Herbicida e MIX: Mix de plantas.

4.3 Custo de manejo das plantas de cobertura

Os custos de cada estratégia de manejo das entrelinhas do cafezal revelam maior dispêndio associado ao tratamento Mix, que alcançou 18 vezes o valor associado ao menor custo, o manejo com herbicida. Na sequência, o manejo com braquiária superou em cerca de 15 vezes o menor custo, enquanto as plantas espontâneas, superaram em apenas 1,4 vezes.

Figura 8. Custo (R\$/ha) associado a cada estratégia de manejo das entrelinhas do cafezal no período de set/23 a set/24.



Tratamentos: MIX: Mix de plantas, BRA: Braquiária, ESP: Espontâneas e HER: Herbicida.

5 Discussão

5.1 Desenvolvimento do cafeeiro

A curva de crescimento do cafeeiro (Figura 5) indica maior crescimento das plantas nos meses de set/23 a mar/24, período de maiores temperaturas e pluviosidade para a região. Em contrapartida observa-se menor crescimento no período de abr/24 a set/24, onde ocorre temperaturas mais baixas e seco. Esse resultado corrobora com a literatura, que aponta maiores taxas de crescimento do cafeeiro nos períodos de primavera/verão e redução no outono/inverno,

devido à influência da temperatura e da disponibilidade hídrica (Partelli *et al.*, 2010; DaMatta *et al.*, 2007).

O prazo de 12 meses de experimentação foi insuficiente para que os tratamentos pudessem influenciar o desenvolvimento do cafeeiro (Tabela 4). Outro fator que pode ter influenciado esse e os demais indicadores estudados é o comportamento do clima no período estudado, como o período de seca acentuado como demonstrado na Figura 1. Nesse sentido, as estratégias de manejo de cobertura não promoveram maior crescimento dos cafeeiros, como também não prejudicaram as plantas nesse período. Desta forma, um período de avaliação de um ano pode ser considerado como insuficiente para a expressão dos efeitos de práticas de manejo do solo sobre o desenvolvimento do cafeeiro (Bergo *et al.*, 2003).

5.2 Avaliações do solo

Nas entrelinhas do cafezal, local que coincide com os manejos de cobertura, não se verificaram efeitos dos tratamentos sobre nenhum dos atributos químicos do solo em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 5). O curto período desde a implantação do experimento também pode ser a explicação por essa ausência de efeitos que poderiam aparecer em função do aporte e ciclagem de nutrientes proporcionado pelas raízes das plantas de cobertura. Os resíduos dos cortes das plantas de cobertura não foram incorporados nas entrelinhas, sendo direcionados para as linhas do cafeeiro. Esta não incorporação de resíduos é outro fator que pode contribuir para a ausência de alterações da química do solo na entrelinha da cultura, assim como destacado por Delarminda *et al.* (2010).

Cabe destacar ainda que, a influência do período seco prolongado e acentuado, pode ter colaborado para menor produção de biomassa da *U. ruzizensis* e do mix de plantas, como estudado por Simeão *et al.* (2022) que observaram redução na produção da *U. ruzizensis* no período seco. Também pode ter contribuído para menor qualidade dos resíduos, conforme observado por Ramirez *et al.* (2010), que concluíram haver menor produção de matéria seca, digestibilidade e fibras, muito embora estes atributos de biomassa e qualidade não tenham sido avaliados.

Nas linhas do cafeeiro, o direcionamento de massa vegetal das plantas de cobertura da entrelinha para a linha, refletiu em alterações nos atributos químicos do solo em função dos tratamentos adotados, muito provavelmente pelo fornecimento dos nutrientes em função da decomposição do material vegetal na linha do cafeeiro (Lima *et al.* 2009).

O teor de P disponível não foi afetado pelos tratamentos em nenhuma profundidade na linha de cafeeiro (Tabela 5), fato que pode ser explicado pela alta retenção deste nutriente no solo, sobretudo em solos argilosos como o deste estudo, o que reduz sua dinâmica no perfil do solo (Novais e Smyth, 1999). Seguramente a biomassa vegetal movimentada para as linhas também não foi capaz de contribuir com incrementos de P nesta posição.

Por outro lado, incrementos nos teores de K disponível foram verificados nos tratamentos de BRA e MIX em comparação com ESP e HER em todas as profundidades (Tabela 5). Esse resultado pode estar, em partes, associado à adubação de plantio realizada apenas para esses tratamentos, fornecendo 22 kg/ha de K₂O no formulado 05-30-06. Além disso, outro fator que pode ter contribuído é a aparente maior produção de biomassa por parte do tratamento BRA e MIX em relação ao ESP e HER, uma vez que as gramíneas como a *B. ruziziensis* apresentam a característica de aportar K no sistema via ciclagem desse nutriente, conforme resultados encontrados por Torres *et al.* (2008), em que gramíneas como milho, sorgo e braquiária acumularam e liberaram K em maior proporção em relação a outros materiais estudados. Importante ressaltar que o mecanismo pelo qual as gramíneas como *U. ruziziensis* conseguem acumular e disponibilizar o K para as plantas, está relacionado ao K não participar da estrutura da planta, sendo liberado na decomposição da biomassa e participando da dinâmica desse nutriente no solo (Volf *et al.*, 2018).

Os maiores teores de K no solo encontrados até 20 cm podem ser associados à característica do nutriente de boa movimentação no solo (Neves *et al.*, 2009). Essa constatação é importante, uma vez que o K é o segundo nutriente mais requerido pelo cafeeiro (Moraes e Catani, 1964), sendo aportado nas lavouras em quantidades significativas e, por se tratar de um nutriente importado, acarreta maiores custos para a atividade. Como mais de 90% deste tipo de adubo é importado (FAO, 2022), a longo prazo, ganhos em profundidade podem reduzir a demanda de adubação potássica nos cafeeiros, refletindo em redução nos custos de produção e dependência de recursos externos (FAO, 2015), obviamente desde que isto não implique em perdas por lixiviação.

No que diz respeito ao pH (Tabela 5), ainda na linha do cafeeiro, o tratamento com mix de plantas se destacou por apresentar, de forma mais consistente, os maiores teores ao longo de todas as camadas estudadas. Embora outros tratamentos tenham apresentado resultados satisfatórios em camadas específicas, o mix foi o que mais frequentemente se aproximou dos níveis desejáveis para a cultura do cafeeiro. Vale ressaltar que o pH do solo não foi corrigido antes da instalação dos tratamentos. Assim, este efeito pode ser associado ao fornecimento de bases como cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por parte dos resíduos vegetais das plantas de

cobertura depositados na linha de plantio. Essa contribuição guarda coerência com o incremento desses mesmos nutrientes, coincidente com o aumento do pH, conforme destacado por Abranches *et al.* (2021), que atribuíram essa elevação à decomposição da biomassa e à liberação gradual de nutrientes pelas plantas utilizadas na adubação verde.

Na camada de 5-10 cm da linha, os tratamentos BRA e ESP apresentaram os menores teores para pH, Ca e Mg (Tabela 5). Tais resultados podem, no caso da braquiária, estar associados à presença de uma única espécie, que tem um efeito limitado na melhoria dos atributos químicos do solo (Souza *et al.*, 2017). No caso das plantas espontâneas, o baixo volume de biomassa produzido pode estar associado, além de outros fatores, à menor capacidade de ciclagem e fornecimento de nutrientes como Ca e Mg (Borges *et al.*, 2014). Embora a biomassa não tenha sido quantificada neste estudo, Borges *et al.* observaram que espécies espontâneas apresentaram menor acúmulo de nutrientes na fitomassa em comparação a espécies utilizadas intencionalmente como adubos verdes, o que pode limitar sua eficiência no aporte nutricional ao solo. Na camada de 10-20 cm, ao tratamento BRA foram associados os menores teores de pH, Ca e Mg, que por sua vez limitam o pleno desenvolvimento das plantas de interesse, refletindo sua baixa eficiência quando cultivada isoladamente, especialmente em camadas mais profundas (Franzluebbbers, 2002).

Os teores de Al trocável na linha do cafeeiro (Tabela 5) foram influenciados pelos tratamentos apenas na camada de 0-5 cm, onde o uso da braquiária proporcionou os melhores resultados, reduzindo os teores desse componente tóxico para o cafeeiro, enquanto no tratamento das plantas espontâneas, esses teores foram mais elevados. Este resultado pode estar diretamente relacionado à capacidade da braquiária de reduzir a disponibilidade de alumínio tóxico nas camadas superficiais do solo, através da liberação de exsudatos radiculares e do acúmulo de matéria orgânica, que contribuem para a complexação e posterior imobilização do Al^{3+} , conforme demonstrado por Crusciol *et al.* (2011).

A capacidade de troca catiônica do solo (CTCe) teve melhores valores com o uso do MIX (Tabela 5), o que foi associado ao efeito deste tratamento sobre as melhores condições de pH, Ca e Mg, com explicações para isto já discutidas.

Os teores de NT no solo (Tabela 6) não foram influenciados nas linhas e entrelinhas pelos tratamentos nas três profundidades estudadas, o que pode ser reflexo da grande dinâmica desse nutriente no solo. Essa dinâmica é influenciada pela mineralização e imobilização promovida pela decomposição de resíduos vegetais e a atividade microbiana, que são processos rápidos no solo, dificultando a detecção de variações significativas em um curto espaço de tempo (Aita *et al.*, 2004). A *U. ruzizensis* apresenta elevado potencial de reciclagem de

nitrogênio, pois acumula de 0,2 a 1,2 kg/ha/dia de N em biomassa (Costa *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2019). Ademais, após sua dessecação, a braquiária eleva os teores de N total e amônio na rizosfera, mostrando transferência eficiente de N para o solo (Castoldi *et al.*, 2013).

Os tratamentos não afetaram os teores de CT (Tabela 6) tanto nas linhas quanto nas entrelinhas na camada mais superficial do solo (0-5 cm). No caso das entrelinhas, como a dinâmica de decomposição pode ser associada a uma rápida mineralização da matéria orgânica, a ausência de resíduos da parte aérea das plantas de cobertura nesta posição pode ter contribuído para este resultado (Franzluebbers *et al.*, 2000). No caso das linhas, supõe que o volume de biomassa recebido dos cortes das plantas de cobertura não foi ainda suficiente para incrementar os teores de CT.

Na profundidade de 5 a 10 cm, os efeitos dos tratamentos foram curiosamente restritos à entrelinha. Nesta posição, os tratamentos MIX e ESP proporcionaram maiores teores de CT (Tabela 6). No caso das plantas espontâneas, este resultado denota que a própria população de plantas da área pode fornecer bons níveis de carbono uma vez que este resultado foi estatisticamente igual ao mix, que foi adubado. Esta situação denota o potencial da população de plantas espontâneas da área no aporte de carbono no perfil do solo, algo a ser reavaliado e confirmado com maior tempo de experimentação. Este efeito interessante das plantas espontâneas no estoque de carbono (Tabela 6) em profundidade é repetido na camada mais profunda avaliada (10-20 cm).

Ao tratamento ESP somam-se os MIX e HER como os de maiores acúmulos de CT (Tabela 6) na referida camada, destacando a menor contribuição neste sentido do uso da braquiária. Este discreto efeito da braquiária no aumento do carbono do solo contrasta com os resultados esperados para a espécie, especialmente considerando sua capacidade de acúmulo de biomassa e extração de nutrientes em profundidade. Menezes e Leandro (2004) destacaram que a *Brachiaria ruziziensis* apresentou uma das maiores produções de fitomassa total e residual dentre as espécies avaliadas, com elevado teor de carbono na matéria seca e alta relação C/N, indicando grande potencial para aporte de carbono ao solo ao longo do tempo, sobretudo via resíduos de raízes e cobertura persistente. Ainda assim, esses resultados obtidos até o momento são inconclusivos, indicando que o período de experimentação pode não ter sido suficiente para uma análise definitiva.

A qualidade física do solo não foi alterada pelos tratamentos avaliados, resultado este esperado, uma vez que alterações na densidade de partículas efetivamente não são esperados com práticas de manejo de solo num curto período (Tabela 7). Conforme discutido por Alves *et al.* (2008), alterações nas propriedades físicas do solo geralmente requerem períodos mais

longos de manejo com uso de adubos verdes e práticas que promovam a recuperação de um solo degradado.

A ausência de efeito significativo sobre os teores de argila dispersa em água (ADA) indica que, até o momento, os tratamentos aplicados não promoveram alterações relevantes na estabilidade dos agregados do solo (Tabela 7). Como a ADA está diretamente relacionada à dispersão de partículas finas e à fragilidade estrutural, sua manutenção em níveis constantes sugere que a estrutura do solo ainda não foi suficientemente melhorada para reduzir sua suscetibilidade à erosão hídrica.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi a variável mais sensível aos tratamentos avaliados após um ano de sua adoção (Figuras 6 e 7). Antes da imposição dos tratamentos e no período seco (set/2023), não se verificavam grandes diferenças de RP entre as linhas e entrelinhas do cafezal (Figura 6a). Nessas duas posições, a RP não suplantava o limite de 3,0 MPa (Serafim *et al.*, 2013) como crítico para o cafeeiro. Depois de um ano e no período seco (set/2024), os valores de RP extrapolaram o limite crítico, especialmente entre 10 e 35 cm de profundidade, tanto na linha como na entrelinha (Figura 6a e 6b). Ainda que na mesma estação, a indicação da umidade do solo nos gráficos revela o solo mais seco depois de um ano dos tratamentos. Essa redução da umidade, causada por diferenças de precipitação ou mesmo pelo uso de mais água do solo das plantas, podem resultar em incrementos da RP, tendo em vista que não se verificaram diferenças de densidade do solo entre os tratamentos.

A pouca variação nos valores de umidade do solo entre os tratamentos sugere que os maiores valores de RP associados ao tratamento BRA possam ser decorrentes da biomassa de raízes (não quantificadas) da braquiária que possam exercer algum tipo de resistência ao penetrômetro.

No período chuvoso, com o aumento da umidade do solo nos primeiros quatro meses de experimento (jan/24), a RP não superou o valor crítico de 3,0 MPa para o cafezal em nenhuma das estratégias de controle das plantas de cobertura, tanto na linha como na entrelinha (Figura 7a). Um ano mais tarde (jan/25), o valor crítico de RP foi ultrapassado unicamente pelo tratamento MIX nas profundidades entre 5 e 15 cm na entrelinha e entre 10 e 25 cm na linha (Figura 7b).

Interessante observar que nessa condição mais úmida do solo, o uso da braquiária reduziu a RP no perfil do solo. Esse resultado está diretamente relacionado ao seu sistema radicular fasciculado, que forma bioporos e aumenta a porosidade, facilitando o crescimento de raízes subsequentes. Favilla *et al.* (2020) relataram redução de densidade aparente do solo em torno de 18%, melhorando a continuidade dos poros e aumentando o armazenamento e

transmissibilidade de água e ar no solo. Além disso, Calonego *et al.* (2011) mostraram que consórcios com *Brachiaria* reduzem a resistência de penetração em camadas profundas. Lembrando que não há qualquer tráfego de máquinas dentro da lavoura.

5.3 Custo de manejo das plantas de cobertura

O maior custo do manejo da cobertura da entrelinha ao longo de um ano foi associado ao uso do Mix de plantas (Figura 8). Este dispêndio foi aumentado tendo em vista os custos com sementes e, principalmente, pela necessidade de aquisição de novas sementes para ressemeadura após três cortes. Essa decisão de replantio foi tomada em função de que, após três cortes, apenas o milho permaneceu rebrotando, descaracterizando completamente a ideia do tratamento. O milho é uma planta com colmos mais grossos e hábito de crescimento decumbente em relação a *U. decumbens* e as plantas espontâneas. Desta forma, essa característica do milho contribuiu para o aumento de custo do MIX, pois o tempo para roçada requerida para este tratamento superou o da braquiária e plantas espontâneas. A razão para este incremento de tempo se deve à presença dos colmos mais grossos do milho e do hábito de crescimento decumbente da *U. decumbens*.

Ainda que estatisticamente igual ao custo do mix de plantas (Figura 8), o segundo maior custo em termos de numéricos foi do tratamento com braquiária, também associados ao gasto com sementes e fertilizantes para estabelecimento desta população de plantas na área. Contudo, neste caso, não houve necessidade de ressemeadura como ocorreu no mix de plantas, devido a boa capacidade de rebrota da *Urochloa ruziziensis*.

O uso de plantas espontâneas foi a estratégia de manejo das plantas de cobertura com o menor custo (Figura 8). Os menores dispêndios desta estratégia são associados à dispensa da operação de semeadura/ressemeadura e seus custos associados, bem pela facilidade de roçada, pois é composta por plantas rasteiras e de fácil controle, como picão-preto (*Bidens pilosa*), poaia (*Richardia brasiliensis*) e erva-de-touro (*Tridax procumbens* (L.) L.).

Além dos menores custos operacionais do herbicida, seu uso com glifosato apresenta diversas desvantagens que devem ser consideradas (Figura 8). A IARC (2016) classifica-o como provável agente carcinogênico humano, e o custo do insumo está diretamente ligado à cotação do dólar. Carvalho *et al.* (2014) observou que mesmo subdoses por deriva reduzem a colonização pelas AMF em até 60%, prejudicando a nutrição do cafeeiro. Em paralelo, o glifosato reduz a biomassa e a diversidade fúngica do solo (Jiménez *et al.*, 2021) e diminui bactérias benéficas como *Pseudomonas* e *Rhizobium*, além de selecionar genes de resistência a

antibióticos (Santos *et al.*, 2020). Com isso, ainda que o custo de aplicação seja baixo, seu uso pode comprometer a saúde do solo, a eficiência nutricional e a sustentabilidade de longo prazo.

Os menores custos associados ao uso da capina ou roçada das plantas espontâneas ou ainda ao uso do herbicida são coerentes com a lógica e prática de muitos agricultores familiares da região, que optam por essas estratégias de manejo das entrelinhas dos cafezais. Entretanto, essa discussão deve ser ampliada para potenciais outros benefícios de se investir em outras plantas de cobertura que podem, no longo prazo, trazer outros benefícios para a cultura do cafeeiro. Infelizmente o pequeno tempo experimental ainda não foi capaz de permitir que os efeitos esperados tenham prevalecido nos tratamentos. Mas este é o início de um estudo que segue e que, com mais tempo de avaliação, pode trazer contribuições para o manejo das plantas de cobertura nos cafezais.

5.4 Considerações de ordem prática

Considerando que o experimento foi conduzido em condições de campo, em uma área comercial de produção de café, com os manejos de semeadura, roçada, aplicação de herbicidas e tratos culturais do cafeeiro executados pelo próprio agricultor, faz-se pertinente registrar algumas observações práticas oriundas da vivência na área.

A primeira observação refere-se à dificuldade enfrentada durante a roçada do consórcio de plantas de cobertura, principalmente devido à presença do milheto, cuja estrutura lignificada e porte elevado dificultaram o corte com a lâmina, além de propiciarem o tombamento das plantas sobre a linha do cafeeiro, prejudicando o manejo. Uma estratégia identificada para facilitar a operação foi realizar a roçada com movimento de cima para baixo na linha, ou seja, começando próximo da linha superior em direção à linha inferior. Desta forma, os resíduos vegetais eram direcionados diretamente para debaixo da saia dos cafeeiros da linha de baixo.

Outro ponto relevante observado foi a ocorrência de morte de alguns ramos inferiores do cafeeiro, atribuída ao abafamento causado pela deposição de resíduos vegetais sobre as folhas da parte mais baixa dos cafeeiros. Essa situação ocorre pelo movimento natural decorrente da operação de roçada, que lança os resíduos sobre as folhas. Esse abafamento causava em algumas situações a necrose das extremidades dos ramos, com perda das folhas. Para se evitar essa situação, recomenda-se uma nova operação para retirar esses resíduos sobre as folhas, o que pode ser feito com o auxílio de um rastelo. Deve-se considerar que tal operação demanda esforço operacional adicional. Além disso, a presença de resíduos na linha do cafeeiro

pode dificultar a disposição dos panos sob a saia, tornando indispensável a realização da arruação para viabilizar a operação de colheita do café.

6 Conclusões

O uso de diferentes estratégias de manejo de plantas de cobertura na cafeicultura de montanha impacta na fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e custos da atividade, embora não impactou o crescimento dos cafeeiros ou a qualidade física do solo.

O uso de braquiária ou mix cafeeiro implica em investimentos inicial em fertilizantes que proporcionam melhorias no pH e na CTC dos solos, muito embora tais estratégias impliquem em aumento de custos para o agricultor.

O uso de produtos como mix cafeeiro deve ser pautado pela cautela, uma vez que seu uso parece implicar na necessidade de replantios sucessivos para se garantir a biodiversidade prometida pelos fabricantes.

O uso de braquiária e o mix de plantas disponibiliza os maiores teores de K para o sistema.

Os menores custos foram associados ao uso de herbicidas e ao tradicional manejo das plantas espontâneas por meio da roçada. Esta observação é coerente com a prática e lógica dos agricultores da região, porém, novas estratégias merecem ser avaliadas com maior tempo experimental para oferecer novas oportunidades de ganhos em termos de qualidade do solo e produtividade que extrapolem essa visão simplesmente financeira dos custos da prática adotada.

BIBLIOGRAFIA

ABRANCHES, M. O.; SILVA, G. A. M. **Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, p. 1–17, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16351>. Acesso em: 04 mar. 2025.

ALCÂNTARA, E. N.; MARTINS, C. P. **Efeito dos métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção do cafeeiro.** In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., Vitória. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2019, 4 p, 2019.

AITA, C. *et al.* **Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, p. 157-165, 2001.

AITA, C. *et al.* **Consociação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: I - Dinâmica do nitrogênio no solo.** *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 28(4), 739–749, 2004. DOI:10.1590/S0100-06832004000400014.

ALCÂNTARA, E. N. de. **Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (Coffea arábica L.) sobre a qualidade de um Latossolo Roxo distrófico.** 133 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

ALVES, B. J. R., *et al.* **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 405-416, 2008.

ALVES, P. L. da C. A.; PITELLI, R. A. **Manejo ecológico de plantas daninhas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 29-39, set./out. 2001.

BERGO, C. L. *et al.* **Efeito de adubação verde no crescimento e produtividade do cafeeiro.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 29., 2003, Poços de Caldas. Anais [...]. Poços de Caldas: MAPA/PROCAFÉ, 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/507698/efeito-de-adubacao-verde-no-crescimento-e-produtividade-do-cafeeiro>. Acesso em: 03 mar. 2025.

BOER, C. A. *et al.* **Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro Oeste do Brasil.** *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v. 32, p. 843-851, 2008.

BOER, C. A. *et al.* **Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.42, n.9, p.1269-1276, set. 2007.

BÖHM, W. **In situ estimation of root length at natural soil profiles.** J. Agric. Sci., 87:365-368, 1976.

BORGES, A. L.; LIMA, R. R.; SILVA, R. C. **Uso de plantas de cobertura no controle da erosão e aumento da matéria orgânica do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(5), 1373-1382, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tBQ4GMS4yBx3d5F6CBYS9bb/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 03 mar. 2025.

BORGES, I. B. **Resposta De Cafeeiros Irrigados Em Função Do Uso Da Braquiária Nas Entrelinhas.** Universidade de Brasília. Brasília, 120p, 2018.

BORGES, W. L. B. *et al.* **Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo.** Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 755–763, out./dez. 2014.

BRANDÃO, V.S. *et al.* **Infiltração da água no solo.** ed. UFV, Viçosa – MG, 120 p, 2006.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. **Biologia de Plantas Daninhas.** Ed. Omnipax BMPD-cap1. Rio Grande do Sul, 2011.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. **Intervalo hídrico ótimo como indicador da melhoria da estrutura do solo sob sistemas conservacionistas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 1995–2004, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000600003.

CANUTO, R. S. O. *et al.* **Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em área de produção de café Catuaí Amarelo.** Inova Ciência & Tecnologia, Ituiutaba, v. 9, n. 3, p. 51–60, set./dez. 2023. Disponível em: <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/1017>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CARLESSO R.; ZIMMERMANN F. L. **Água no Solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação.** ed. UFSM, Santa Maria – RS, 88p, 2000.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo.** In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. Cerrado: Adução verde. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 143-170, 2006.

CARVALHO, A.M.X. *et al.* **SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments.** Crop Breeding and Applied Biotechnology, 20(3): e327420312, 2020. DOI:10.1590/1984-7033202020346.

CARVALHO, F. P. *et al.* **Glyphosate drift affects arbuscular mycorrhizal association in coffee.** *Planta Daninha*, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 783–789, 2014. DOI:10.1590/S0100-83582014000400013.

CARVALHO, M. L. *et al.* **Guia Prático de Plantas de Cobertura: Aspectos Fitotécnicos e Impactos sobre a saúde do solo.** ESALQ. PIRACICABA, 2022.

CASTOLDI, G. *et al.* **Nitrogênio na rizosfera e não rizosfera de milho e braquiária solteiros e em consórcio.** *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 587–593, 2013. DOI: 10.1590/S0034-737X2013000500006.

CECCON, G.; CONCENÇO, G. **Produtividade de massa e dessecação de forrageiras perenes para integração lavoura-pecuária.** *Planta Daninha*, v. 32, p. 319-326, 2014.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de precisão do tempo em Coimbra-MG.** 2025. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/3668/coimbra-mg>>. Acesso em: 09 jun. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília**, DF, v.11, n. 4, quarto levantamento, janeiro 2025.

CONSELHO DAS ENTIDADES DO CAFÉ DAS MATAS DE MINAS (Minas Gerais). **Região das Matas de Minas.** 2021. Disponível em: <<https://matasdeminas.org.br/o-que-e-o-projeto-matas-de-minas/>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

COOK, H. F.; VALDES, G. S. B.; LEE, H. C. **Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L.** *Soil Tillage Res.*, v. 91, n. 1-2, p. 227-235, 2006.

COSTA, N. R. *et al.* **Liberção de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de milho em Latossolo do cerrado goiano.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 500–506, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000500005.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* **Nitrate role in basic cation leaching under no-till.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1975-1984, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/59ZbMX9nqdNSzZ49NxBJmLk/?lang=pt>. Acesso em: 4 mar. 2025.

DaMATTA, F. M. *et al.* (2007). **Ecophysiology of coffee growth and production**. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485–510.

DELARMELINDA, E. A. *et al.* **Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO**. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2010. Disponível em:
https://www.scielo.br/j/aa/a/ffNX5NxfnhfZFXJMVrgT6gc?utm_source=chatgpt.com.
 Acesso em: 3 mar. 2025.

DICK, R. P. **Soil enzymes activities as indicators of soil quality**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. *Madson: SoilScience Society of America*, v. 35, 1994. p. 107-124.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* (2016). **Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1003-1020.

DUNCAN C. *et al.* (2018). **Genotypic Responses of Brachiaria Grass (*Brachiaria spp.*) Accessions to Drought Stress**. *Journal of Agronomy*, 17: 136-146.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. **Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes**. *Canadian Journal of Soil Science*, v.75, p.529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa., 2017. 574p.

EPAGRI, EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **O que são plantas de cobertura ou adubos verdes: conheça as vantagens**. Santa Catarina, 2020. Disponível em:
<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2020/09/04/o-que-sao-plantas-de-cobertura-ou-adubos-verdes-conheca-as-vantagens/#:~:text=As%20plantas%20de%20cobertura%20são,promovida%20pelos%20organismos%20do%20solo>. Acesso em: 04 de jun. 2023.

FAVILLA, B. S. *et al.* ***Braquiária ruziziensis* consorciada com milho melhora atributos físicos do solo**. *Scientia Agraria, Curitiba*, v. 21, n. 3, p. 93–101, 2020. DOI: 10.5380/rsa.v21i3.72792.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO. (2015). **Economic aspects of conservation agriculture**. Disponível em:<
<http://www.fao.org/ag/ca/5.html>>. Acesso em: 04 mar 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
The statistic division – FAOSTAT. Paris: FAO, 2022. Disponível em:
<https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 04 mar. 2025.

FIALHO, C. M. T. *et al.* **Competition of weeds with coffee plants, in two times of infestation.** *Planta Daninha*, 28(EN):969-978, 2010.

FONTES, J. R. A.; GONÇALVES, J. R. P. **Manejo integrado de plantas daninhas.** Embrapa Amazônia Ocidental, 2009.

FRANZLUEBBERS, A. J., *et al.* (2000). **Soil Organic Carbon and its Mineralization as Influenced by Crop Residues.** *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1994-2002.

FRANZLUEBBERS, A. J. *et al.* **Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA.** *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 32, Issue 4, 2000, Pages 469-478.

HIRATA, A. C. *et al.* **Plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do tomate em plantio direto.** *Planta Daninha*, v. 27, n. 3, p. 465-472, 2009.

HORTON, R. E. (1940) **An approach toward a physical interpretation - capacity.** *Soil Science Society of America Proceeding*, Madison, 5, 399-417.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Q&A on Glyphosate.** 2016, 3p. Disponível em https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/11/QA_Glyphosate.pdf.

JIMÉNEZ, C. *et al.* **Effects of glyphosate on soil fungal communities: A field study.** *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 53, n. 4, p. 349–358, 2021. DOI: 10.1016/j.ram.2020.10.005.

KOSTIAKOV, A.N. **On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation.** *Trans. 6t h comm. Intern. Society Soil Science, Moscou, Part A.*, 17-21, 1932.

LEMOS, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., p. 83, Campinas-SP, 1996.

LIMA, P. C. de. *et al.* **Produção de biomassa, conteúdo e mineralização de nutrientes de leguminosas e plantas espontâneas para adubação verde de cafezais sob cultivo orgânico.** In: Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil (6.: 2009: Vitória, ES). Anais Brasília, D.F: Embrapa - Café, 2011 (1 CD-ROM), 6p.

MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária. **Sumário Executivo do Café.** Outubro de 2024. Disponível em:
http://www.consorcioquesisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2024/Outubro/Sumario_Cafe_outubro_2024.pdf. Acesso em: 07 fev. 2025.

MARCOLINI, L. W. *et al.* **Effect of density and the distance of *Brachiaria decumbens* Staff on the initial growth of *Coffea arabica*** Coffee Sci., v. 4, n. 1, p. 11-15, 2009.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo.** São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATSUNAGA, M. *et al.* **Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA.** Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MELLO, L. P. *et al.* (2002). **Dinâmica da decomposição de resíduos vegetais no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26(2), 353-361.

MELLONI, R. *et al.* **Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, n. 1, p. 67-75, 2013.

MENDES, I. L.; PEREIRA, M. G.; GARCIA, A. R. (2018). **Efeito de plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22(8), 561-567. Disponível em:
https://www.scielo.br/j/eagri/a/nFx4QqHfbJTMj53S3J4LPND/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 04 de março de 2025.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. (2004) **Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, 34:173-180.

MENEZES, M. S., *et al.* (2014). **Efeito de plantas de cobertura no acúmulo de carbono no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(1), 125-134.

MORAES, M. T. *et al.* (2016). **Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo.** Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água.

MORAES, F. R. P.; CATANI, R. A. (1964). **A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação**. *Bragantia*, 23:331-336.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. **Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses e de cloreto de potássio**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 33, p. 25-32, 2009.

NKOA, R.; OWEN, M.D.K.; SWANTON, C.J. **Weed abundance, distribution, diversity, and community analyses**. *Weed Sci. Weed Science*. 63. 64-90. 10.1614/WS-D-13-00075.1.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais** Viçosa, MG: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* **Acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade da cultura do milho**. *Revista Agro@ambiente On-line*, Boa Vista, v. 13, n. 3, p. 271–278, 2019. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v13i3.6272.

OMAR, C. R. **Atributos do solo e resposta do cafeeiro a regimes hídricos com e sem braquiária nas entrelinhas**. 2014. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

PACHECO, L. P.; CANTALICE, M. L. *et al.* **Alterações de curto prazo na matéria orgânica do solo pelo uso de adubos orgânicos**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recuperado de ALICE.CNPTIA.EMBRAPA.BR. 2015. Acesso em: 04 de março de 2025.

PARTELLI, F. L. *et al.* **Growth and development of coffee plants of the cultivar ‘Conilon Vitória Incaper 8142’ propagated by seeds and cuttings**. *Ciência Rural*, 40(1), 38-42, 2010.

PEDROSA, A. W. **Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro e *Brachiaria brizantha***. 2013. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. DOI: 10.11606/T.11.2013.tde-15032013-101246.

PELÁ, A. **Uso de plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal-SP**. 2002. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PHILIP, J.R. **Theory of infiltration**: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.*, p. 435 - 448, 1957.

PITELLI, R. A. **Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 27, p. 11-16, 1985.

RAMÍREZ, J. L. *et al.* **Yield of dry matter and nutritive quality of the pasture *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis* cv. Mulato in the Cauto Valley, Cuba.** *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44(1), 2010. Retrieved from <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/294>.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. **Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária.** Visão Agrícola. (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2013.

RESCK, D.V.S. *et al.* Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole. p. 359-417, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: CFSEMG. 359p, 1999.

RONCHI, C. P. *et al.* **Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas.** Planta Daninha, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A. **Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition.** Planta Daninha, v. 25, n. 4, p. 679-687, 2007.

SANTOS, R. *et al.* **Residues of glyphosate-based herbicides in soil negatively affect plant-beneficial microbes.** *Environmental Microbiology*, 2020.

SILVA, A. A. A. *et al.* Biologia de Plantas Daninhas. In SILVA, A. A. da; SILVA, J. F. da (Eds.). **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas.** Viçosa, UFV. P.17-21, 2007.

SILVA, F. de. A. S.; AZEVEDO, C.A.V. de. **A new version of the Assistat-Statistical Assistance software.** In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4. Orlando. Proceedings. Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396. 2006.

SISTI, C. P. J. *et al.* **Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 76, p. 39-58. solo. 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa., 2017. 574p, 2004.

SOUZA, E. D. *et al.* **Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção 11 agropecuária no Brasil.** In: SOUZA E. D.; SILVA F. D; ASSMANN T. S.; CARNEIRO 12 M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção 13 Agropecuária no Brasil. 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart. p.107-122, 2018.

STEENWERTH, K.; BELINA, K.M. **Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem.** Appl. Soil Ecol., [s.l.], v. 40, p. 370-380, 2008.

TABATABAI, M. A. **Soil Enzymes.** In “**Methods of Soil Analysis – Part 2 Microbiological and Biochemical Properties**”, pp. 786-944. SSSA, Madison, WI. 1994.

TELES, T.G.R.M. *et al.* **Produção e composição química da Brachiaria brizantha cv. MG-4 sob efeito de adubação com NPK.** Acta Scientiarum. Animal Sciences, Maringá, v. 33, n. 2, p. 137-143, 2011.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água.** Porto Alegre: UFRGS. 186 p, 2016.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. **Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto.** Bragantia, [s.l.], v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. **Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1609-1618, 2008.

VELDKAMP, E. **Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation.** Soil Science Society of America Journal, v.58, p.175-180, 1994.

VOLF, M. R. *et al.* **Potassium Dynamics in Ruzigrass Rhizosphere.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 42, e0170370, 2018. DOI:10.1590/18069657rbc20170370.

VILELA, P. S.; RUFINO, J. L. D. S. **Caracterização da Cafeicultura de Montanha de Minas Gerais.** Estudos INAES e FAPEMIG. Cadeias Produtivas. Café, v.1. 2010.

TYAGI, V. C. *et al.* **Weed management in Berseem (Trifolium alexandrium L.): a review** International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, [S.l.], v.

7, n. 5, p. 1929-1938, 2018. DOI:10.20546/ijcmas.2018.705.226>. Acesso em: 21 jan. 2019.

ZIECH, A. R. D. *et al.* **Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50, 374-382. 2015.