

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
LETICIA GONÇALVES DO NASCIMENTO

MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR DE CAFEEIRO COM USO DE *MULCHING*

Monte Carmelo
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
LETICIA GONÇALVES DO NASCIMENTO

MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR DE CAFEEIRO COM USO DE *MULCHING*

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como requisito necessário para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gleice Aparecida de Assis

Monte Carmelo
2021

LETICIA GONÇALVES DO NASCIMENTO

MORFOLOGIA DO SISTEMA RADICULAR DE CAFEEIRO COM USO DE *MULCHING*

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como requisito necessário para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

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

Monte Carmelo, 14 de outubro de 2021.

Banca Examinadora

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

Prof. Dr. Douglas José Marques
Membro da Banca

Dr. Fabio Janoni Carvalho
Membro da Banca

Monte Carmelo
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, saúde, persistência e força para caminhar em busca do meu sonho, dentre todos os obstáculos que encontrei na minha jornada.

Aos meus pais, Alamim Gonçalves dos Reis e Abadia Tereza do Nascimento, que me apoiaram, incentivaram e não deixaram desistir dos meus sonhos, diante de todas as dificuldades encontradas ao longo da minha caminhada profissional e da vida.

Aos meus avôs, Jair Gonçalves dos Reis, Nidalva Rosa de Lima e Maria Cândida do Nascimento, que sempre ajudaram e amparam nessa jornada enquanto presentes.

Ao Marco Iony dos Santos Fernandes, pelo companheirismo, amizade, conselhos e ajuda em todas as atividades profissionais e particulares.

A minha orientadora Prof^a Gleice Aparecida de Assis, pela amizade, carinho, profissionalismo, paciência e toda contribuição para o desenvolvimento da minha carreira profissional.

Ao Dr. Fabio Janoni Carvalho pelo auxílio na realização das análises estatísticas do trabalho.

A todos os meus amigos, colegas e parentes, que me ajudaram de qualquer forma no desenvolvimento das minhas atividades.

Ao grupo de estudos NECACER (Núcleo de Estudos em Cafeicultura do Cerrado), onde fui integrante por três anos, com desenvolvimento de projetos que foram fundamentais para minha carreira.

A todas as pessoas que contribuíram e ajudaram a desenvolver esse projeto tão importante na minha vida.

A todos os professores da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo.

A Universidade Federal de Uberlândia por disponibilizar o curso de Agronomia em Monte Carmelo-MG com os melhores profissionais de ensino, técnicos e servidores, que contribuíram direto e indiretamente no meu desempenho.

Ao CNPq que disponibilizou a bolsa de estudos para auxiliar no desenvolvimento do projeto.

E a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVO	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	8
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1 Área experimental e tratamentos	12
4.2 Morfologia do sistema radicular.....	15
4.3 Resistência do solo à penetração	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Morfologia do sistema radicular.....	20
5.2. Resistência do solo à penetração	23
6 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	26

RESUMO

Uma das grandes preocupações no cultivo do cafeeiro, principalmente na fase de formação da lavoura, é o controle de plantas daninhas e a disponibilidade de água responsável por propiciar o pegamento das mudas e todo desenvolvimento inicial da planta. Visando promover um adequado desenvolvimento radicular, o uso do *mulching* de polietileno pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades químicas e biológicas do solo. Objetivou-se avaliar a morfologia do sistema radicular de cafeeiros e a resistência do solo à penetração com uso do *mulching* de polietileno de diferentes larguras e cores. O plantio da lavoura, com a cultivar Topázio MG-1190, foi realizado em dezembro de 2016, utilizando-se espaçamento de 3,5 m entrelinhas e 0,6 m entre plantas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco tratamentos, sendo eles: 1- *mulching* dupla face branco/preto com largura de 1,20 m; 2 - *mulching* branco/preto com largura de 1,40 m; 3 - *mulching* prata/preto com largura de 1,20 m; 4 - *mulching* prata/preto com largura de 1,40 m e 5 - ausência de *mulching*. Cada parcela foi constituída por 10 plantas, considerando como úteis as oito centrais. Foram estimados os seguintes parâmetros morfológicos associados à morfologia radicular do cafeeiro: massa de matéria seca total de raízes por volume de solo (MST), em mg cm^{-3} ; comprimento total de raízes por volume de solo (CT), em cm cm^{-3} ; volume total de raízes por volume de solo (VT), em $\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$; área total de raízes por volume de solo (AT), em $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$; superfície específica de raízes (SE), obtida pela relação entre AT e MST, em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$; comprimento específico de raízes, obtido pela relação entre CT e MST, em m g^{-1} ; e diâmetro médio das raízes (DM), em milímetros. Com o uso do penetrômetro foi avaliada a resistência do solo à penetração. As raízes com menores diâmetros estão mais concentradas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, enquanto na camada de 20 a 40 cm encontram-se raízes com maiores diâmetros. As plantas do tratamento com *mulching* prata com largura de 1,20 m apresentaram maior superfície e comprimento específico das raízes, além de apresentar menor resistência do solo à penetração.

PALAVRAS-CHAVE: cobertura morta sobre a superfície do solo, desenvolvimento radicular, resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

One of the major concerns in coffee cultivation, mainly in the formation phase of the crop, is the control of weeds and the availability of water responsible for promoting the establishment of seedlings and all the initial development of the plant. Aiming to advance root development, the use of polyethylene mulching can be an alternative to improve the chemical and biological properties of the soil. The objective of this study was to evaluate the morphology of the root system of coffee trees and the soil resistance to penetration using polyethylene mulching of different widths and colors. The planting of the crop, with the cultivar Topaz MG-1190, was carried out in December 2016, using a spacing of 3,5 m between rows and 0,6 m between plants. The experimental design used was in randomized blocks, with four blocks and five treatments, as follows: 1- white/black double-sided mulching with 1,20 m width; 2 - white/black mulching with 1,40 m width; 3 - silver/black mulching with 1,20 m width; 4 - silver/black mulching with 1,40 m width and 5 - no mulching. Each plot consisted of 10 plants, considering the eight central plants as useful. The following morphological parameters associated with coffee root morphology were estimated: total root dry matter mass per soil volume (MST), in mg cm^{-3} ; total length of roots per soil volume (TC), in cm cm^{-3} ; total root volume per soil volume (VT), in $\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$; total area of roots per soil volume (AT), in $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$; root specific surface (SE), obtained by the relationship between AT and MST, in $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$; specific length of roots, obtained from the relationship between TC and MST, in m g^{-1} ; and the roots mean diameter (DM), in millimeters. With the use of a penetrometer, the soil resistance to penetration was evaluated. Roots with smaller diameters are more concentrated in the 0 to 20 cm deep layer, while roots with larger diameters are found in the 20 to 40 cm layer. The treatment plants with mulching with 1,20 m width had greater surface and specific length of the roots, in addition to presenting lower soil resistance to penetration.

KEYWORDS: mulch on the soil surface, root development, soil resistance to penetration.

1 INTRODUÇÃO

O café foi introduzido no Brasil em 1727 no estado do Pará. Devido seu grande valor comercial e condições favoráveis para o cultivo, a cultura expandiu-se rapidamente para outros estados. A partir de 1845, o Brasil já foi considerado o maior exportador de grãos de café do mundo (MATIELLO et al., 2020). O café se tornou umas das principais *commodities* do país e a segunda bebida mais consumida no mundo.

As maiores produções são provenientes do estado de Minas Gerais. A região Sul/Sudoeste representa 55% da produção total do estado em 2020. Porém, o relevo acidentado presente em grande parte da região dificulta o manejo mecanizado, havendo assim maior necessidade de mão-de-obra.

Com o avanço da tecnologia na agricultura houve necessidade da expansão da cafeicultura em áreas com relevo relativamente plano que favorecesse a introdução da mecanização nas lavouras cafeeiras, tornando a produção mais rentável e operacional. Dessa forma, o cultivo do cafeeiro na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba vem se destacando no Brasil, principalmente na obtenção de cafés especiais.

No ano de 2020 o Brasil apresentou produção total de 63 milhões de sacas de café beneficiado. A região Sudeste foi responsável pela produção de 55 milhões de sacas de café beneficiado, ressaltando que o estado de Minas Gerais correspondeu a 63% da produção total da região. Em Minas Gerais, 99,04% das lavouras são implantadas com a espécie *Coffea arabica* L., correspondendo a 99,13% da produção do estado (CONAB, 2020a).

As espécies cultivadas no Brasil são *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre ex Froenher. O *C. arabica* é favorecido por altas altitudes, temperaturas em torno de 18°C a 22°C e precipitação média anual de 1.500 mm bem distribuídos. Essas condições fizeram com que essa espécie apresentasse seu máximo potencial produtivo nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Um dos grandes gargalos do cultivo do cafeeiro, principalmente na fase de formação da lavoura, é o controle de plantas daninhas e a disponibilidade de água responsável por propiciar o pegamento das mudas e todo desenvolvimento inicial da planta. Visando promover um adequado desenvolvimento radicular, o uso do *mulching* de polietileno pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades químicas e biológicas do solo.

O sistema radicular do cafeeiro é constituído por uma raiz pivotante reta e lenhosa, não ultrapassando 0,45 m de profundidade. Por meio dela surge grande quantidade de raízes laterais que são capilares devido à alta capacidade de absorção de água e nutrientes. O sistema radicular varia de acordo com o ambiente, fatores bióticos e abióticos.

Com a modernização na agricultura nas últimas décadas, a compactação do solo ocasionada principalmente pelo tráfico de máquinas e implementos, resultou na modificação dos atributos físicos do solo como redução da disponibilidade de água e ar e aumento da resistência do solo, dificultando a exploração das raízes das plantas em profundidade (SILVA et al., 2017). Além disso, há uma redução da infiltração da água da chuva, aumentando o escoamento superficial e limitando o desenvolvimento do sistema radicular da planta, reduzindo o crescimento e produtividade (SARTOR et al., 2020).

No mercado brasileiro existe uma ampla variedade de cobertura de solo disponíveis. O filme de cor preta/preta é recomendado para regiões de clima ameno por proporcionar aumento na temperatura do solo em torno de 3°C. O polietileno de dupla face branco/preto é indicado para regiões de clima tropical, apresenta boa refletividade de forma a transmitir menor calor para a superfície do solo (YURI et al., 2012). Já o polietileno de dupla face prata/preto é indicado para regiões quentes, pois reflete maior parte dos raios solares transmitindo pouca energia para o solo (YURI et al., 2014).

O *mulching* de polietileno resulta na redução da evaporação da água do solo e provoca menos oscilações de temperatura no solo (KOSTERNA, 2014), pois a temperatura varia de acordo com a absorvidade e condutividade térmica do material utilizado, além de influenciar no consumo de água e desenvolvimento da planta. Além disso, a cobertura de polietileno promove um eficiente controle de plantas daninhas, favorecendo a microbiota do solo e promovendo maior mineralização do nitrogênio orgânico, aumentando a disponibilidade nas camadas superficiais do solo (YURI et al., 2012).

O desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro está relacionado à diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de água, fertilidade, resistência à penetração no solo e propriedades físicas e químicas do solo. Neste contexto, o *mulching*, por ter influência nas propriedades do solo, poderá proporcionar melhor distribuição espacial das raízes do cafeeiro, propiciando melhores condições para absorção de água e nutrientes, o que poderá refletir em aumentos de produtividade da lavoura.

2 OBJETIVO

Avaliar a morfologia do sistema radicular de cafeeiros e a resistência do solo à penetração com uso do *mulching* de polietileno de diferentes larguras e cores.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A cultura do cafeeiro foi introduzida no Brasil, no estado de Pará, no século XVIII por meio de mudas e sementes vindas da Guiana Francesa. Assim, o cafeeiro foi transplantado no Maranhão e posteriormente introduzido nos estados vizinhos. No século XIX foram implantadas as primeiras lavouras cafeeiras nos estados de São Paulo e Minas Gerais, onde o clima e solo eram favoráveis. Desse momento em diante o Brasil passou a ser o principal produtor, responsável por 45% da produção mundial. Já no século XX, a safra nacional atingiu 20 milhões de sacas, ultrapassando a demanda mundial (MATIELLO et al., 2020).

No estado de Minas Gerais as lavouras foram introduzidas no início do século XIX na mesorregião do Sul de Minas, onde as práticas de cultivo são manuais, com baixa utilização de mecanização devido a topografia ser geralmente inclinada. Essas dificuldades fizeram com que produtores buscassem uma topografia plana para que houvesse aumento nas produções e diminuição do custo de produção, tornando a cafeicultura mais empresarial (SIMÕES e PELEGRINI, 2010).

Devido às dificuldades de mecanização encontradas na mesorregião do Sul de Minas, as lavouras expandiram-se para a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, inicialmente nas cidades de Patrocínio e Araguari. Desta forma, com os avanços oriundos da Revolução Verde houve um aumento no número de plantações no Cerrado Mineiro, principalmente devido ao Programa de Desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO) e Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER), cujo objetivo era a produção de grãos com alta tecnologia (VALE; CALDERARO, FAGUNDES, 2014).

Nas últimas duas décadas o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste Mineiro apresentaram aumento de 37,7% na área em produção e 46% de áreas em formação, enquanto

a região Sul e Centro-Oeste de Minas apresentou acréscimo de área de 13,7% e 35%, respectivamente. Em relação à produção, a região Sul e Centro-Oeste se destacou, tendo um acréscimo de 11,6 milhões de sacas de café beneficiado, sendo significativamente superior ao Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste, a qual apresentou acréscimo de 2,9 milhões de sacas. A diferença no incremento de produção está relacionada à área atual de lavouras em produção, sendo que a região Sul e Centro-Oeste apresenta 538 mil hectares cultivados, correspondendo a 64% a mais que a outra região (CONAB, 2020b).

Atualmente o Brasil apresenta 137 cultivares de *C. arabica* registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES – RNC, 2021), de forma a propiciar a expansão e qualidade nas lavouras cafeeiras. Dentre as diversas cultivares registradas pode-se destacar a cultivar Topázio MG-1190 que é originária do cruzamento entre a cultivar Catuaí Amarelo e Mundo Novo, realizado por técnicos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no ano de 1960 e sendo registrada em 2000. Este material foi inserido em Minas Gerais por meio da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), que culminou com a liberação desta cultivar para o plantio comercial (EPAMIG, 2016).

A cultivar Topázio MG-1190 apresenta porte baixo (2 m de altura e de copa) sendo suscetível à ferrugem e todas as espécies de nematoides. A maturação dos frutos é média, possui boa qualidade sensorial, alto vigor e alta produtividade, chegando a 77 sacas ha⁻¹ no cultivo irrigado em Monte Carmelo. No quesito tamanho de grãos, apresenta, em média, 41,42% de grãos do tipo chato médio e 25,68% de grãos chato graúdo (FERNANDES et al., 2020).

A produtividade e o crescimento da planta do cafeeiro estão relacionados com o equilíbrio da parte aérea e sistema radicular (GÓMEZ-GONZÁLEZ et al., 2018). Em diversos países produtores de café, o déficit hídrico é o principal estresse ambiental responsável por reduzir a produção e desenvolvimento da planta (COVRE et al., 2015). Os principais mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico das plantas é a eficiência da retirada da água no solo e controle estomático (MARRACCINI et al., 2012; SILVA et al., 2013).

O sistema radicular do cafeeiro pode variar de acordo com a espécie, genótipo, idade da planta, estação do ano, clima, densidade de plantas, estresses bióticos, textura e estrutura do solo (PARTELLI et al., 2014; RONCHI et al., 2015; GÓMEZ-GONZALEZ et al., 2018), além da disponibilidade de água no solo (VICENTE et al., 2019).

O cafeeiro possui sistema radicular constituído por uma raiz pivotante reta e lenhosa que não ultrapassa 0,45 m de profundidade, a qual origina grande quantidade de raízes

oblíquas, também originando as raízes laterais (radicelas terminais) que são caracterizadas como capilares devido à alta capacidade de absorção de água e sais minerais (COVRE et al., 2015). O sistema radicular das plantas é constituído pelas raízes finas (menores que 5 mm de diâmetro) e raízes grossas (maiores que 5 mm de diâmetro) (QUINTO et al., 2016).

Segundo Ronchi et al. (2015) há maior abundância de raízes na camada de 0,1 m de profundidade em relação à 0,4 m em lavouras cafeeiras. A diminuição do espaçamento entre plantas proporciona aumento da massa de matéria seca, volume e área total das raízes por volume de solo, não influenciando no comprimento, superfície específica e profundidade.

A composição do solo influencia consideravelmente a distribuição das raízes. No experimento realizado por Carducci et al. (2014) verificou-se a presença de 91% de raízes finas na profundidade de 0,20-0,34 m em Latossolo gibbsítico, já o Latossolo caulínico apresentou apenas 63%, porém se destacou na maior frequência de raízes grossas.

Atualmente, a preocupação dos produtores com a qualidade física e química do solo está aumentando, pois está diretamente relacionada ao desenvolvimento radicular das plantas. Algumas formas de manter ou melhorar a qualidade física é por meio da utilização de cobertura do solo, onde cada técnica apresentará sua peculiaridade. Uma tecnologia que está ganhando destaque nos últimos anos, principalmente no cultivo de olerícolas, é a utilização do *mulching* de polietileno.

O *mulching* é comumente usado na implantação de culturas como o morango, tomate, alface, dentre outras culturas. Proporciona aumento da temperatura do solo, conserva a umidade e controla as plantas daninhas. Com a utilização desta tecnologia, a flutuação de temperatura do solo na profundidade de 0,20 a 0,30 m diminui, promovendo melhor desenvolvimento das raízes e reduzindo também a lixiviação de fertilizantes e compactação do solo (JAYALALITHA et al., 2020), além de aumentar a disponibilidade de nutrientes e oferecer proteção contra lesões ocasionadas pela geada (PANDEY; SINGH, MAURYA, 2015).

Os plásticos refletores aumentam a difusão de raios solares suprimindo a germinação de plantas daninhas e no verão deixam o solo com temperatura em torno de 30°C. O *mulching* branco apresenta atratividade ou repelência a algumas espécies de pragas e passa menor temperatura para o solo por refletir 85% da luz; já o *mulching* prata repele insetos e aumenta a refletividade dos raios solares favorecendo aumento na produção de fotoassimilados na planta (SANTIN, 2017).

O aquecimento na superfície do solo transferida por condução do calor sensível determina o regime térmico do solo e isso está relacionado diretamente pelo grau de contato

do *mulching* com o solo, sendo que quanto maior o contato maior será a condução de calor. À noite, devido à irradiação de raios solares e decorrência de raios longos, o solo tende a perder calor para entrar em equilíbrio térmico com a atmosfera. Desta forma o uso do plástico de polietileno é favorável para que não haja contato direto dos raios longos no solo possibilitando melhor estabilidade do regime térmico (SANTIN, 2017).

No cultivo de olerícolas, o uso do *mulching* tem proporcionado aumento de produtividade, diminuição dos gastos com a lavoura e redução da perda de água por evaporação (LAMBERT et al., 2017), além do controle eficiente das plantas daninhas, reduzindo os custos com a capina, e propiciando a propagação de raízes laterais que resultará em aumento da eficiência do uso da água (JAYALALITHA et al., 2020).

Para a cultura do cafeeiro, pesquisas conduzidas na região do Cerrado Mineiro, comprovam aumento de 96% na produtividade na primeira safra da lavoura com a utilização do *mulching* em comparação à ausência de cobertura plástica (NASCIMENTO et al., 2020). Também houve incremento de 8,7% na altura, 9,7% no diâmetro de caule, e 15,6% para o diâmetro de copa, em cultivo não irrigado (PIRES, 2018). Mesmo em condições de sequeiro, os cafeeiros responderam positivamente em produtividade e desenvolvimento vegetativo com o uso do *mulching*.

He, Lin e Chen (2017) relatam que os grandes limitadores do desenvolvimento das raízes é a umidade do solo e a resistência do solo à penetração, fatores que podem apresentar papéis diferentes nas modificações do sistema radicular, visto que em solos compactados as raízes apresentam aumento das células corticais.

De acordo com Vaz, Costa e Souza (2014) a produtividade do cafeeiro está diretamente relacionada à compactação do solo, pois em áreas com menor resistência à penetração, a produtividade foi mais elevada. Uma das principais formas de se manejar uma lavoura é monitorar a evolução das propriedades físicas do solo, sendo a compactação facilmente avaliada com a utilização do penetrômetro, que estabelece a relação de força/unidade da área trabalhada (KUHWALD et al., 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo (latitude sul 18° 43' 28", longitude oeste 47° 31' 27" e altitude de 907 m). O local de estudo pertence à região do Alto Paranaíba-MG. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa.

O plantio da lavoura, com a cultivar Topázio MG-1190, foi realizado em dezembro de 2016, utilizando-se espaçamento de 3,5 m entrelinhas e 0,6 m entre plantas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco tratamentos, sendo eles: 1- *mulching* dupla face branco/preto com largura de 1,20 m; 2 - *mulching* branco/preto com largura de 1,40 m; 3 - *mulching* prata/preto com largura de 1,20 m; 4 - *mulching* prata/preto com largura de 1,40 m e 5 - ausência de *mulching*. Cada parcela foi constituída por 10 plantas, considerando como úteis as oito centrais. A área experimental apresentou 250 plantas.

Durante todo o período de avaliação do experimento, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-0,20 m para análise química e posterior recomendação de adubação. As análises efetuadas nos meses de novembro de 2016, referente à implantação da lavoura, em setembro de 2017 correspondendo ao primeiro ano após o plantio, setembro de 2018 correspondente ao segundo ano após o plantio e de setembro de 2019 referente ao terceiro ano após o plantio encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo na profundidade de 0 a 0,20 m na área experimental nos anos de 2016 a 2019 (Monte Carmelo, Minas Gerais)

Característica	2016	2017	2018	2019
pH (H ₂ O)	5,5	6,0	5,8	5,2
Fósforo (P) – mg dm ⁻³	18,6	29,9	12,4	12,6
Potássio (K) - mg dm ⁻³	134,0	149,0	91,0	165,0
Cálcio (Ca ²⁺) – cmol _c dm ⁻³	3,8	4,0	2,7	3,2
Magnésio (Mg ²⁺) – cmol _c dm ⁻³	1,5	1,6	1,0	0,8
Alumínio (Al ³⁺) – cmol _c dm ⁻³	0,0	0,0	0,0	0,1
H+Al (Extrator SMP) – cmol _c dm ⁻³	2,2	2,6	3,8	3,3
Soma de bases trocáveis (SB) – cmol _c dm ⁻³	5,6	6,1	3,9	4,4
CTC (t) - cmol _c dm ⁻³	5,6	6,1	3,9	4,5
CTC a pH 7,0(T) - cmol _c dm ⁻³	7,8	8,7	7,7	7,7
Índice de saturação por bases (V) - %	72,0	70,0	51,0	57,0
Índice de saturação de alumínio (m) - %	0,0	0,0	0,0	2,0
Matéria orgânica (MO) - dag kg ⁻¹	2,6	2,4	2,6	2,5
Zinco (Zn) –mg dm ⁻³	4,7	5,9	2,5	2,8
Ferro (Fe) – mg dm ⁻³	21,0	30,0	22,0	20,0
Manganês (Mn) – mg dm ⁻³	3,1	5,3	1,7	4,2
Cobre (Cu) – mg dm ⁻³	2,0	4,2	2,7	3,5
Boro (B) – mg dm ⁻³	0,4	0,2	0,3	0,4

Manual de métodos de análise de solo - EMBRAPA, 2017.

t: CTC efetiva; T: CTC potencial.

Métodos de extração: P, K, Na = Mehlich¹; S-SO₄²⁻ = [Fosfato monobásico cálcio 0,01 mol L⁻¹]; Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L⁻¹]; H+Al = [Solução Tampão SMP pH 7,5]; B = [BaCl₂. 2H₂O 0,125% água quente]; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA.

A adubação foi realizada de acordo com os dados da análise de solo (Tabela 1) conforme recomendação de Guimarães et al. (1999). No momento da implantação, foram feitas aplicações de 371 g cova⁻¹ de fertilizante fosfatado contendo 17,5% de P₂O₅; 805 g por metro linear de fertilizante contendo 8% de K₂O e 25% de Si e 5 L m⁻¹ linear de composto orgânico de origem bovina. Para o nitrogênio, foi realizada aplicação de 30 g de adubo de liberação controlada contendo 37% de N aplicado em cobertura, 30 dias após o plantio das mudas.

No primeiro ano após o plantio, as recomendações para adubação nitrogenada e potássica foram de 34 g planta⁻¹ do formulado 30-00-11 (N-P₂O₅-K₂O) + 0,27% de B, sendo realizadas quatro aplicações no período de novembro de 2017 a fevereiro de 2018. A adubação fosfatada foi dispensada em função do alto teor deste nutriente no solo. Com relação aos micronutrientes, a recomendação foi de 3 kg ha⁻¹ de B devido ao baixo teor deste no solo, sendo suprido com o formulado descrito anteriormente e o restante com ácido bórico (17% de B). Não foi necessária a correção do solo com calcário, pois o pH do solo encontrava-se igual

a 6,0 e saturação por bases 70%, enquadrando em níveis considerados satisfatórios para a cultura do cafeeiro.

No segundo ano após o plantio, as recomendações para adubação nitrogenada e potássica foram de 50 g planta⁻¹ do formulado 30-00-11 (N-P₂O₅-K₂O) + 0,27% de B e 16 g planta⁻¹ de 39-00-00 (N-P₂O₅-K₂O), sendo realizadas três aplicações no período de novembro de 2018 a janeiro de 2019, e 19 g planta⁻¹ de KCl (60% de K₂O), realizado em novembro e dezembro de 2018. A recomendação de adubação fosfatada foi de 24 g planta⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅) sendo realizada em única aplicação no mês de novembro de 2018. Com relação aos micronutrientes, a recomendação foi de 2 kg ha⁻¹ de B devido ao baixo teor deste no solo, sendo suprido com o formulado 30-00-11 (N-P₂O₅-K₂O) + 0,27% de B. Foram aplicados via adubação foliar 20 mL de um fertilizante contendo 11% de Cu em 20 L de água, sendo realizadas duas aplicações no período de dezembro de 2018 a janeiro 2019. A correção de calagem foi realizada em única aplicação de 90 g planta⁻¹ de calcário dolomítico (CaO 40,20 %; MgO 14% e PRNT de 80%).

Já no terceiro ano após o plantio, a recomendação de nitrogênio foi de 19 g planta⁻¹ de ureia (45% de N) e 7 g planta⁻¹ de KCl (60% de K₂O), sendo realizadas três aplicações entre o período de janeiro a março de 2020. A adubação fosfatada foi dispensada em função dos teores se enquadrarem em níveis satisfatórios para a cultura do cafeeiro. Com relação aos micronutrientes, a recomendação foi de 2 kg ha⁻¹ de B via aplicação foliar de ácido bórico (17% de B), e 5 kg ha⁻¹ de Mn fornecido via foliar com sulfato de manganês (31% Mn e 17% S). A correção de calagem foi realizada em uma única aplicação de 8 g planta⁻¹ de calcário dolomítico (CaO 40,20 %; MgO 14% e PRNT de 80%).

O manejo de plantas daninhas na entrelinha foi efetuado com uso da roçadora e herbicidas, cujos princípios ativos foram glifosato e oxifluorfem, utilizados nas doses de 4,5 L ha⁻¹ e 2 L ha⁻¹, respectivamente. O controle de pragas e doenças foi realizado com a utilização de produtos fitossanitários registrados para a cultura. O experimento foi conduzido sem irrigação.

O campo experimental localizado em Monte Carmelo-MG apresenta variações constantes na temperatura mensal no decorrer do ano, possuindo primavera e verão quentes com temperaturas próximas a 25°C, e outono e inverno frios com temperaturas abaixo de 20°C (Figura 1). Em 2016 a precipitação anual aproximou-se de 2.500 mm, sendo concentrada nos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro. Já em 2017 a 2019 a precipitação ficou próxima de 1.500 mm.

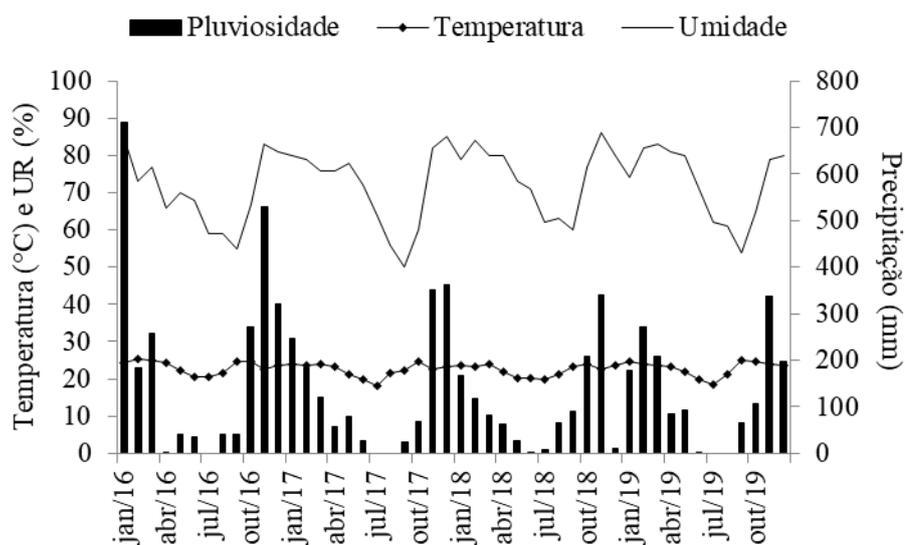


Figura 1. Precipitação, umidade relativa e temperatura média mensal da cidade de Monte Carmelo – MG no período de 2016 a 2019 (Sismet Cooxupé, 2021).

4.2 Morfologia do sistema radicular

As amostragens de raízes foram realizadas em duas épocas: a primeira em abril de 2019, após a retirada do *mulching* e a segunda em julho, três meses após a retirada do *mulching* com auxílio de um trado caneco de duas polegadas (com volume de 400 cm³) (Figura 2). Em todas as épocas foram coletados três pontos, sendo eles: ponto 1 (P1), entre a planta adjacente do lado direito na mesma linha de plantio, sendo ele na metade do espaçamento entre plantas; pontos 2 (P2) e 3 (P3) afastados do ponto anterior no sentido da entrelinha a uma distância de 0,15 e 0,30 m, respectivamente (Figura 3).



Figura 2. Amostragem das raízes com a utilização do trado caneco.



Figura 3. Posicionamento dos pontos amostrados.

No ponto 1 foram coletadas duas profundidades: 0-0,2 e 0,2-0,4 m, e nos pontos 2 e 3 as amostras foram coletadas na profundidade de 0-0,2 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes e levadas para a geladeira até serem analisadas. No laboratório cada amostra foi colocada em um balde com água para destorroar e logo em seguida foram peneiradas em peneiras de malha de 4, 2 e 1 mm (Figura 4). Posteriormente as raízes foram separadas com o auxílio de pinças (Figura 5).



Figura 4. Destorroamento das amostras e posterior peneiramento das amostras separando o solo das raízes.



Figura 5. Separação das raízes das peneiras.

Em seguida as raízes foram coloridas com violeta genciana (1%) por cinco minutos e colocadas em papel toalha para a retirada do excesso do corante (Figura 6). As raízes foram organizadas sobre uma folha transparente (filme de poliestireno transparente), sem sobreposição e posteriormente foram escaneadas (Figura 7).



Figura 6. Procedimento de coloração das raízes com violeta genciana (1%).



Figura 7. Escaneamento das raízes.

As amostras de raízes secaram até massa constante para a quantificação da matéria seca em estufa de circulação forçada de ar a 70°C. As imagens escaneadas foram processadas individualmente com o uso do programa Safira da Embrapa (JORGE; RODRIGUES, 2008), com limite de limiarização definido em 150 (parâmetro inerente ao programa) (Figura 8). A partir dos resultados obtidos pelo programa foram estimados os seguintes parâmetros morfológicos associados à morfologia radicular: massa de matéria seca total de raízes por volume de solo (MST), em mg cm^{-3} ; comprimento total de raízes por volume de solo (CT), em cm cm^{-3} ; volume total de raízes por volume de solo (VT), em $\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$; área total de raízes por volume de solo (AT), em $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$; superfície específica de raízes (SE), obtida pela relação entre AT e MST, em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$; comprimento específico de raízes, obtido pela relação entre CT e MST, em m g^{-1} ; e diâmetro médio das raízes (DM), em milímetros. A metodologia foi embasada no trabalho de Ronchi et al. (2015).

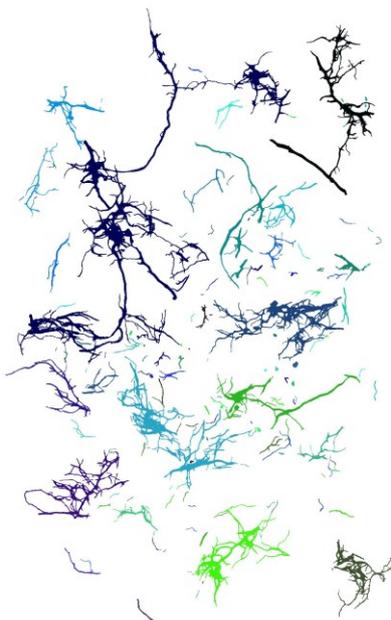


Figura 8. Segmentação da imagem das raízes pelo programa Safira.

Os dados das raízes foram ajustados a um Modelo Linear Generalizado Misto com distribuição normal e função de ligação identidade pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Foram considerados como fixos os tratamentos de *mulching*, as profundidades testadas e a interação destes fatores. Como aleatório, foram consideradas as épocas de coleta e o efeito da parcela subdividida para as profundidades. Os efeitos foram testados pela Análise de *Deviance* (ANODEV) por meio do teste de Qui-Quadrado. Quando

significativo, as médias foram comparados pelo teste de Tukey, considerando-se para os testes a significância de 0,05.

4.3 Resistência do solo à penetração

A avaliação de resistência do solo à penetração (Figura 9) foi realizada em novembro de 2018 com o penetrômetro (Penetrolog da Falker) sendo colocado ao lado esquerdo da planta representado pelo ponto 1 da Figura 10. Foram coletados quatro pontos no sentido horário. A amostragem foi realizada em 20 plantas, correspondendo a uma planta por parcela.



Figura 9. Coleta dos dados da resistência do solo à penetração.

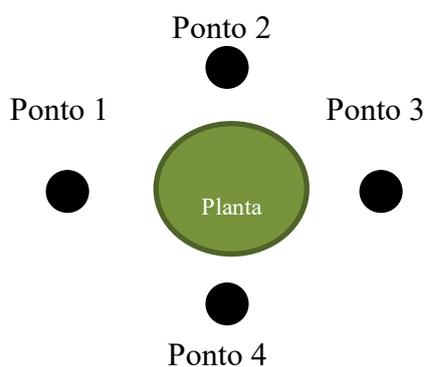


Figura 10. Esquema do posicionamento e sentido da coleta dos dados com o penetrômetro.

Os dados de resistência à penetração foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e posteriormente as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Morfologia do sistema radicular

Pela análise de *Deviance* (Tabela 2) verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para o diâmetro, superfície específica e comprimento específico. Já para a profundidade houve diferença significativa apenas para diâmetro. A interação entre tratamento e profundidade não foi significativa pelo Teste F a 5% de probabilidade para nenhuma variável resposta.

O volume de raízes, área total, comprimento e matéria seca de raízes não diferiram entre os tratamentos e entre os pontos coletados. Aranguren, Escalante e Herrera (1982), Schaller, Schroth e Jimenez (2003), Cardoso et al. (2003), van Katen, Schroth e Jimenez. (2005), Padovan, Cortez e Navarrete (2015) e Gárces (2018), relatam que o cafeeiro cultivado em ambiente que proporciona menor evaporação da água do solo e melhor equilíbrio de temperatura como ocorrido em sistema de consorciação do café com plantas arbóreas induz a planta a produzir raízes finas (diâmetro menor que 2 mm) nas camadas mais superficiais do solo, preferencialmente na camada de 0 a 30 cm de profundidade. É interessante conduzir outros experimentos com o uso do *mulching* para consolidar os dados obtidos neste trabalho.

Tabela 2. Análise de *Deviance* para volume total ($\text{m}^3 \text{cm}^{-3}$), área total ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), diâmetro (mm), comprimento total (cm cm^{-3}), massa seca (mg cm^{-3}), superfície específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) e comprimento específico (m g^{-1}) em função do uso do *mulching* de polietileno de diferentes cores e larguras

FV	GL	Volume total		Área total	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Tratamento	4	0,42	0,98 ^{ns}	0,81	0,94 ^{ns}
Profundidade	3	1,71	0,64 ^{ns}	3,6	0,31 ^{ns}
Bloco	3	3,42	0,33 ^{ns}	3,76	0,29 ^{ns}
Tratamento X Profundidade	12	8,9	0,71 ^{ns}	7,48	0,82 ^{ns}
FV	GL	Diâmetro		Comprimento total	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Tratamento	4	12,48	0,014*	2,12	0,71 ^{ns}
Profundidade	3	9,74	0,021*	5,83	0,12 ^{ns}
Bloco	3	3,22	0,36 ^{ns}	5,15	0,16 ^{ns}
Tratamento X Profundidade	12	12,95	0,37 ^{ns}	8,43	0,75 ^{ns}
FV	GL	Massa seca		Superfície específica	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Tratamento	4	8,79	0,066 ^{ns}	11,57	0,021*
Profundidade	3	0,33	0,95 ^{ns}	0,13	0,99 ^{ns}
Bloco	3	2,71	0,44 ^{ns}	1,48	0,69 ^{ns}
Tratamento X Profundidade	12	9,89	0,63 ^{ns}	8,33	0,76 ^{ns}
FV	GL	Comprimento específico			
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>		
Tratamento	4	15,07	0,004*		
Profundidade	3	0,11	0,989 ^{ns}		
Bloco	3	1,77	0,622 ^{ns}		
Tratamento X Profundidade	12	8,52	0,743 ^{ns}		

**Significativo a 0,01 de significância; *Significativo a 0,05 de significância; Ns Não significativo, pelo teste Qui-Quadrado a 0,05 de probabilidade. FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade.

O tratamento sem a utilização do *mulching* propiciou o desenvolvimento de raízes com diâmetros superiores em relação às plantas cultivadas sem *mulching* (Tabela 3). Na ausência de cobertura as plantas apresentaram superioridade de 12,7% e 4,78%, respectivamente, no diâmetro de raízes em relação aos cafeeiros implantados com *mulching* prata com largura de 1,20 m e *mulching* branco, independente da largura. Observa-se que na profundidade de 20 a 40 cm foi constatada a presença de raízes com maior diâmetro (0,456 mm) em relação à camada mais superficial do solo. O maior desenvolvimento em diâmetro das raízes na ausência de *mulching* foi provocado pelo cafeeiro encontrar a necessidade de expandir o

sistema radicular para maiores profundidades em busca de água no período de estiagem, já que o experimento foi conduzido sem irrigação.

Tabela 3. Médias de volume total ($\text{m}^3 \text{cm}^{-3}$), área total ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), diâmetro (mm), comprimento total (cm cm^{-3}), massa seca (mg cm^{-3}), superfície específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) e comprimento específico (m g^{-1}) em função do uso do *mulching* de polietileno de diferentes cores e larguras

<i>Mulching</i>	VT ^{ns}	AT ^{ns}	D*	CT ^{ns}	MS ^{ns}	SE*	CE**
MB 1,2 m	4,20	15,0	0,441 b	7,74	0,744	26,14 c	12,65 c
MB 1,4 m	3,56	13,3	0,438 b	6,93	0,748	21,75 d	11,28 d
MP 1,2 m	3,81	14,0	0,408 c	7,5	0,556	45,05 a	22,29 a
MP 1,4 m	3,87	14,3	0,426 b	7,47	0,791	30,04 b	15,16 b
SM	2,96	10,9	0,460 a	5,54	0,767	21,33 d	10,29 e
Profundidade	VT ^{ns}	AT ^{ns}	D*	CT ^{ns}	MS ^{ns}	SE ^{ns}	CE ^{ns}
0-20 ponto 1	3,87	14,5	0,426 b	7,77	0,882	32,23	15,99
0-20 ponto 2	4,23	15,2	0,425 b	7,75	0,706	30,54	15,21
0-20 ponto 3	3,82	14,2	0,432 b	7,42	0,646	29,13	14,39
20-40 ponto 4	2,79	10,1	0,456 a	5,21	0,651	23,55	11,72

VT: Volume Total; AS: Área Total; D: Diâmetro; CT: Comprimento Total; MS: Massa Seca; SE: Superfície Específica; CE: Comprimento Específico. *Significativo a 0,05 de probabilidade; **Significativo a 0,01 de probabilidade; ns Não significativo, pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os pontos na profundidade de 0 a 20 cm de profundidade mais distantes do ramo ortotrópico não apresentaram diferenças entre si no diâmetro de raízes. Partelli et al. (2020) relatam que as raízes finas do cafeeiro estão mais concentradas de 10 a 50 cm de distância do ramo ortotrópico da planta, e segundo Ronchi et al. (2015), 75% das raízes finas do cafeeiro estão localizadas na projeção da copa, sendo a região onde são realizadas as adubações.

O *mulching* minimiza as mudanças de temperatura do solo por refletir a maior parte da radiação para o dossel da planta (HELALY et al., 2017), ocorrendo a diminuição da evaporação e conseqüentemente mantêm a umidade e a disponibilidade de água presente no solo (LIU et al., 2015).

A superfície específica e comprimento específico das raízes foi maior entre os tratamentos com uso do *mulching* prata 1,20 m e *mulching* prata 1,40 m, respectivamente. A possível causa está relacionada a maior quantidade de água disponível na camada superior do solo ocorrida pela baixa evaporação da água, propiciando as raízes a se concentrarem nas profundidades mais superficiais do solo, ocorrendo assim a formação de diversas raízes finas (JAYALALITHA et al., 2020).

O *mulching* prata estabelece condições mais favoráveis para o desenvolvimento das raízes, formando um microclima mais aquecido e úmido nas camadas superficiais do solo. Quanto maior a presença de raízes finas na camada superficial do solo maior será a distribuição do sistema radicular das raízes absorventes e o contato da planta com as partículas do solo, favorecendo um melhor aproveitamento do uso da água e nutrientes.

A cobertura plástica sobre o solo possui relação com a produção de hormônios na planta, principalmente o ácido abscísico (ABA) e etileno. A planta estabelecida em ambiente que forneça umidade na zona radicular será estimulada a produzir o ABA (LIU et al., 2015), responsável pelo alongamento e diferenciação das raízes do cafeeiro (D'ARÊDE et al., 2017). As características do sistema radicular são influenciadas por uma série de fatores, dentre eles: espécie da planta, genótipo, idade, estação do ano, clima, densidade de plantio, estresse bióticos, textura e estrutura do solo (PARTELLI et al., 2020).

5.2. Resistência do solo à penetração

Não houve diferença significativa entre a interação de tratamentos e profundidades entre os diferentes pontos pelo teste F a 5% de probabilidade para a resistência do solo à penetração. Verificou-se efeito significativo entre os tratamentos e entre as profundidades de forma isolada para esta variável resposta a 1% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para a resistência do solo à penetração em função do *mulching* de diferentes cores e largura em diferentes profundidades

FV	GL	QM			
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Tratamento	4	436952,24**	1094200,56**	358618,60**	634070,97**
Profundidade	11	1124807,68**	862368,77**	1039209,83**	811925,10**
Tratamento*Profundidade	44	12248,20 ^{NS}	61086,43 ^{NS}	22851,52 ^{NS}	22568,03 ^{NS}
Bloco	3	478574,59	1965097,58	169846,63	295149,87
Erro	177	50081,84	69613,88	56721,53	58478,03
CV (%)	---	33,50	28,04	33,25	32,24

**Significativo a 0,01 de significância; *Significativo a 0,05 de significância; ^{NS} Não significativo, pelo teste F a 0,05 de probabilidade. FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação.

Verifica-se que a utilização do *mulching* prata com largura de 1,40 m proporcionou maiores médias de resistência do solo nos pontos 2 e 4 em relação aos demais tratamentos (Figura 11).

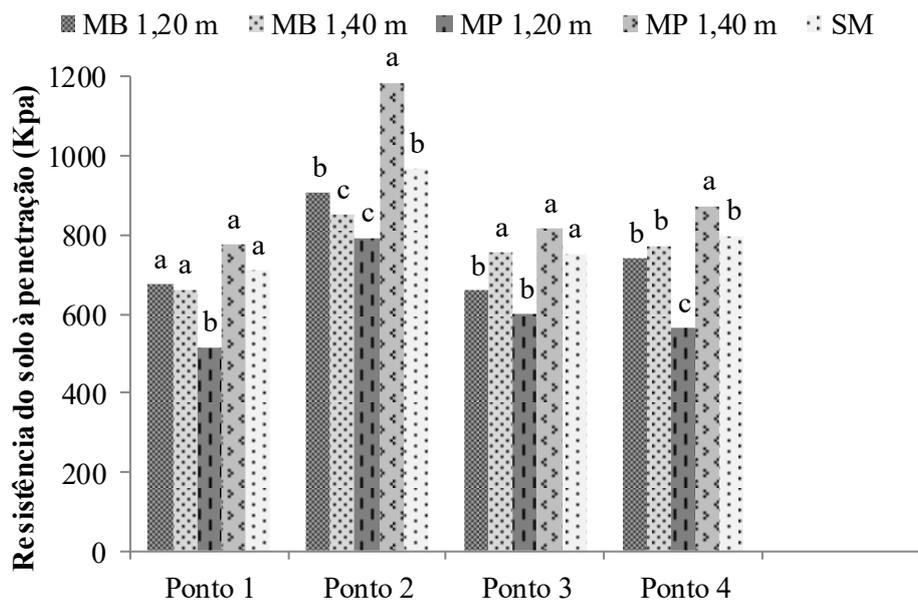


Figura 11. Resistência do solo à penetração em função do uso do *mulching* de diferentes cores e larguras pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade.

Já o *mulching* prata com largura de 1,20 m apresentou menores médias de resistência do solo em todos os pontos amostrados. Em ambos os tratamentos de largura 1,20 m, destacam-se os pontos 2, 3 e 4, apresentando menor compactação do solo. O *mulching* de largura 1,20 m está localizado na projeção da copa do cafeeiro, desta forma ocorre menor incidência direta de radiação solar e possivelmente menor perda de água por evaporação fazendo com que o solo permaneça umedecido e menos resistente à penetração. Já o *mulching* de largura 1,40 m sobressai da projeção da copa do cafeeiro e ocorre maior incidência direta da radiação solar e possivelmente perdas pela evaporação. O uso do *mulching* proporciona aumento na porosidade do solo e diminui a compressão (GLAB; KULING, 2008).

Em relação à resistência à penetração entre as profundidades (Figura 12) verifica-se que a camada superficial de 5 a 25 cm apresentou menor resistência, podendo ser ocasionada devido à deformidade do solo. Os pontos 1 e 2 localizados entre as plantas obtiveram maiores médias entre as profundidades de 35 a 55 cm.

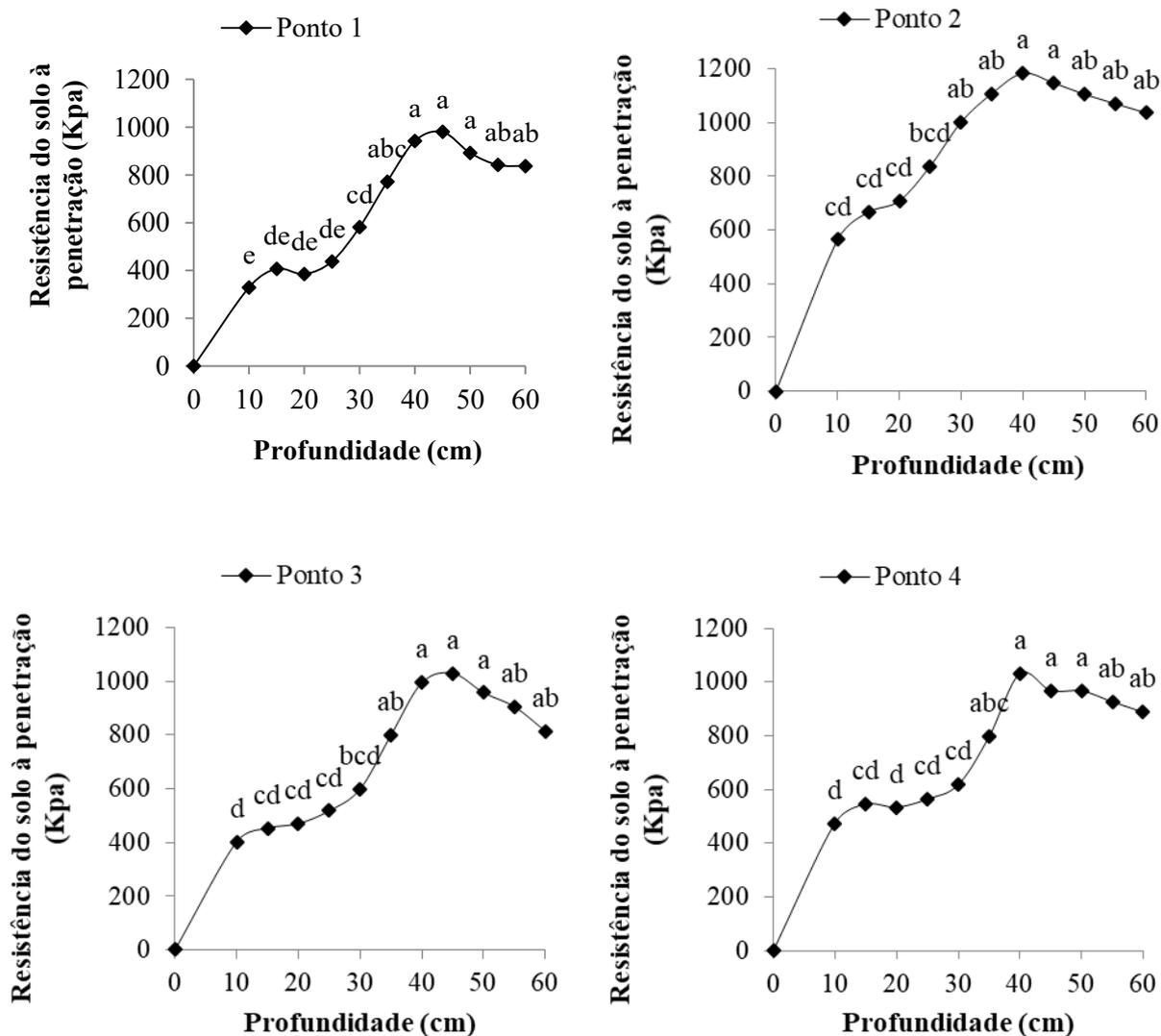


Figura 12. Resistência do solo à penetração em diferentes pontos em proximidade do ramo ortotrópico da planta pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os pontos coletados na entrelinha obtiveram maiores médias de resistência à penetração nas profundidades de 30 a 60 cm, o que indica que tal resistência é influenciada pelo trânsito de máquinas no local e adensamento de raízes. Este resultado condiz com o apresentado por Palma et al. (2013).

6 CONCLUSÕES

As raízes com menores diâmetros estão mais concentradas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, enquanto na camada de 20 a 40 cm encontram-se raízes com maiores diâmetros.

Cafeeiros cultivados sob *mulching* prata com largura de 1,20 m apresentam maior superfície e comprimento específico das raízes, além de apresentar menor resistência do solo à penetração.

REFERÊNCIAS

- ARANGUREN, J. G.; ESCALANTE.; HERRERA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees I. Coffee. **Plant and Soil**. v.67, p. 247-258. 1982.
- CARDOSO, I. M.; BODDINGTON, C.; JANSSEN, B. H.; OENEMA, O.; KUYPER, T. W. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**. v. 58, p. 33-43. 2003.
- CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; Oliveira, L.M.; Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p. 270–278, 2014.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [CONAB]. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2020, quinto levantamento**. 2020a. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [CONAB]. **Série histórica das safras, café total Brasil**. 2020b. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras> > Acesso em: 04 ago. 2021.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 50, n. 11, p. 1006-1016. 2015.

D'ARÊDE, L. O.; MUTSUMOTO, S. N.; SANTOS, J. L.; VIANA, A. E. S.; SILVA, P. A. R. Morfologia do crescimento vegetativo inicial de cafeeiros arábica submetidos a aplicação foliar de paclobutrazol. **Coffee Science**. v. 12, n. 4, p. 451-462. 2017.

EPAMIG – **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais**, 2016. Disponível em: http://www.epamig.br/index.php?searchword=caf%E9&option=com_search&Itemid=. Acesso em: 03 de ago de 2021.

FERNANDES, M. I. S.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; CUNHA, B. A.; AIRÃO, A. L. C.; GALLET, D. S. Parâmetros produtivos e de qualidade de cultivares de cafeeiros na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 18. 2020.

GÁRCES, A. M. Vertical distribution and spatial pattern of fine root density in coffee Based agroforestry systems under organic and conventional inputs. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**. v. 21, p. 199 – 212. 2018.

GLAB, T.; KULING, B. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat *Triticum aestivum*. **Soil & Tillage Research**, v. 99, n. 2, p. 169-178. 2008.

GÓMEZ-GONZÁLEZ, R.; PALMA-LOÓPEZ, D. J.; OBRADOR-OLAN, J. J.; RUIZ-ROSADO, O. Densidad radical y tipo de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas México. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**. v. 5, n. 14, p. 203-215. 2018.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A.W. R.; ALVAREZ, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A.V. C. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Editores, RIBEIRO et al. Viçosa, MG, 1999, 359 p. 289-302.

HE, Y.; LIN, L.; CHEN, J. Maize root morphology responses to soil penetration resistance related to tillage and drought in a clayey soil. **The Journal of Agricultural Science**, v.155, n. 7, p. 1137-1149. 2017.

HELALY, A. A.; GODA, Y.; ABD EL-REHIM, A. S.; MOHAMED, A. A.; EL-ZEINY, O. A. H. Effect of polyethylene mulching type on the growth, yield and fruits quality of physalis pubescens. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 6, n. 5, p. 8. 2017.

JAYALALITHA, M.; RAJESWARI, W.; LALITHA, R.; RAGAVAN, T.; SARAVANAPANDIAN, P. Effect of colored plastic mulch and drip irrigation regimes on weed count, root length and root spread of tomato (*Solanum lycopersicum*). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n.2, p. 652-654. 2020.

KOSTERNA E. Soil mulching with straw in broccoli cultivation for early harvest. **Journal of Ecological Engineering**, v. 15, n. 2, p. 100–107, 2014.

KUHWALD, M.; HAMER, W. B.; BRUNOTTE, J.; DUTTMANN, R. Soil penetration after One-Tie inversion tillage: a spatio-temporal analysis at the field scale. **Land**, v. 9, n. 482, p. 21. 2020.

JORGE, L.A. de C.; RODRIGUES, A.F. de O. **Safira**: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 21p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 24).

LAMBERT, R. A.; BARRO, L. S.; CARMO, K. S. G.; OLIVEIRA, A. M. S. BORGES, A. A. Mulching é uma opção para o aumento de produtividade da melancia. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 53-57, jan./mar. 2017.

LIU, Y.; HAN, J.; GU, D.; WANG, Y.; LIAO, Y. Effect of plastic film mulching on the grain filling and hormonal changes of maize under different irrigation conditions. **PLOS ONE**. v. 13. 2015.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G. S. C.; RAMOS, H. J. O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N. G.; CARNEIRO, F. A.; SUJII, P. S.; ALEKCEVETCH, J. C.; SILVA, V. A.; DAMATTA, F. M.; FERRÃO, M. A. G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L. G. E.; SILVA, F. R. da; ANDRADE, A. C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.4191-4212, 2012.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R.; **Cultura de café no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Fundação Procafé. Rio de Janeiro-RJ e Varginha-MG. 2020 p. 728.

NASCIMENTO, L. G.; ASSIS, A. G.; FERNANDES, M. I. S.; PIRES, P. S.; CARVALHO, F. J.; ARAÚJO, N. O. Mulching na cafeicultura: efeitos na produtividade, maturação, formato dos grãos e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F. et al. Root distribution and water use in coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforestry Systems**, v. 89, p. 857–868. 2015.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; SOUZA, P.; SILVA, J. A. Resistência do solo à penetração em cafezais cultivados com sistema mecanizado e manual. **Coffee Science**. v. 8, n. 3, p. 364-370. 2013.

PANDEY, S.; SINGH, J.; MAURYA, I. B.; Effect of black polythene mulch on growth and yield of Winter Dawn strawberry (*Fragaria x ananassa*) by improving root zone temperature. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 85, n. 9, p. 1219–22. 2015.

PARTELLI, F. L.; CAVALCANTI, A. C.; MENEGARDO, C.; COVRE, A. M.; GONTIJO, I.; BRAUN, H. Spatial distribution of the root system of Conilon and Arabica coffee plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, p.9. 2020.

PARTELLI, F.L.; COVRE, A.M.; OLIVEIRA, M.G.; ALEXANDRE, R.S.; VITÓRIA, E.L. da; SILVA, M.B. da. Root system distribution and yield of ‘Conilon’ coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.349-355, 2014.

PIRES, P. dos S. Crescimento de cafeeiros cultivados com mulching em condições de sequeiro na fase de formação da lavoura. 2018. 22 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

QUINTO, M. H.; MORENO, H. H.; CAICEDO, M. H.; PÉREZ, L. M. Biomasa de Raíces Finas y Fertilidad del Suelo en Bosques Pluviales Tropicales del Pacífico Colombiano. **Colombia Forestal**, v. 19, n. 1, p. 53-66, 2016.

RONCHI, C. P.; JÚNIOR, J. M. S.; AMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N.O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 50, n. 3, p. 187-195, mar. 2015.

RNC – REGISTRO NACIONAL DE REGISTRO DE CULTIVARES. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, CultivarWeb**. Disponível em: < https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php >. Acesso em: 04 Ago. 2021

SANTIN, A. **Produção e qualidade de frutos de morangueiro cultivados sobre coberturas plásticas de solo**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon – Paraná. 2017. 64 p.

SARTOR, L. R.; RAMÃO, J.; SILVA, V. P.; CASSOL, L. C.; BRUN, E. J. Resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação. **Ciência Floresta**. v. 30, n. 1, p. 231-241. 2020.

SCHALLER, J. G.; SCHROTH, B.; JIMENEZ, F. Espécies e características do local que permitem a associação de árvores de rápido crescimento com lavouras: o caso do *Eucalyptus deglupta* como sombra do café na Costa Rica. **Forest Ecology and Management**. v. 175, p. 205-215. 2003.

SILVA, F. J.; OLIVEIRA, C. A. A.; ALMEIDA, L. S.; LIMA, L. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**. v. 4, n. 3, p. 77-84. 2017.

SILVA, P. E. M.; CAVATTE, P. C.; MORAIS, L. E.; MEDINA, E. F.; DAMATTA, F. M. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canéfora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.87, p.49-57, 2013.

SIMÕES, J. C.; PELEGRINI, D. F. **Diagnóstico da cafeicultura mineira: regiões tradicionais – Sul/Sudoeste de Minas, Zona da Mata, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba**. – Belo Horizonte: EPAMIG, 2010. 56 p.

SISMET COOXUPÉ - **Sistema meteorológico da Cooxupé**. Disponível em: < <http://sismet.cooxupe.com.br:9000/index/> >. Acesso em: 31 jul. 2021.

VALE, A. R.; CALDERARO, R. A. P.; FAGUNDES, F. N.; A cafeicultura em Minas Gerais: estudo comparativo entre as regiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste. **Campo-território: Revista de Geografia Agrária**. Edição especial do XXI ENGA-2012, p. 1-23, jun., 2014.

VAN KATEN, R. G.; SCHROTH, J. B.; JIMENEZ, F. Fine-root dynamics of coffee in association with two shade trees in Costa Rica. **Agroforestry Systems**. v, 63, p. 247- 261. 2005.

VAZ, F. J. O.; COSTA, J. C.; SOUZA, A. V.; Avaliação de interferência devido a compactação do solo na produção no cafeeiro utilizando agricultura de precisão. **Anais...** 7º Congresso Mineiro de Inovações Agropecuárias. 2014. 1 p.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; FIGUEIREDO, E. M.; DELAZARI, F. T. Effect irrigation on root development of coffee plants. **Irriga**, v. 24, n. 2, p. 378-391. 2019.

YURI, J. E; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; MOTA, J. H. Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching. **Horticultura Brasileira**. v. 30, n. 3, p. 424-427. 2012.

YURI, J. E.; COSTA, N. D.; CORREIA, R. C.; SANTANA, A. T.; GOMES SOBRINHO, I. Cultivo do meloeiro sob tipos de mulching e diferentes espaçamentos de plantio. **Horticultura Brasileira**. v. 31, n. 2, p. 922-929. 2014.