

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCAS GOMES CAIXETA

SISTEMA RADICULAR, PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVIDADE DE
CULTIVARES DE CAFEIROS NA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

Monte Carmelo
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCAS GOMES CAIXETA

SISTEMA RADICULAR, PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVIDADE DE
CULTIVARES DE CAFEIROS NA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

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

Monte Carmelo
2024

LUCAS GOMES CAIXETA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

SISTEMA RADICULAR, PARÂMETROS VEGETATIVOS E PRODUTIVIDADE DE
CULTIVARES DE CAFEEIROS NA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

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

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

Monte Carmelo, 21 de março de 2024
Banca Examinadora

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

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Membro da Banca

Dr. Fábio Janoni Carvalho
Membro da Banca

Monte Carmelo
2024

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pela saúde, foco e persistência para concluir este trabalho e aproveitar as oportunidades da graduação.

Aos meus pais Sandoval Alves Caixeta e Elismar Aparecida Gomes Caixeta pelos ensinamentos, incentivos pessoais e profissionais durante toda vida e principalmente nos anos de universidade.

A minha irmã Fernanda Gomes Caixeta por todo o apoio de sempre.

A minha professora, orientadora Dra. Gleice Aparecida de Assis por toda paciência, ajuda, conselhos e oportunidades disponibilizadas durante esses anos de trabalho.

Ao Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior por todas as oportunidades concedidas na minha graduação.

A todos os membros do Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados.

Aos meus amigos Bruno Cota, Gabriel Querino, Pedro Luca e Pedro Paulo pela parceria de sempre.

Ao grupo de pesquisa NECACER – Núcleo de Estudos em Cafeicultura do Cerrado onde foi realizado este trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de bolsa de iniciação científica.

A todos os servidores da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo por proporcionar um ambiente amigável e organizado para o desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	9
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 Cultura do cafeeiro	9
3.2 Cultivares de <i>Coffea arabica</i> L.	12
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Morfologia do sistema radicular	25
5.2 Produtividade, maturação e qualidade dos frutos	27
5.3 Biometria	34
6 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

RESUMO

A escolha da cultivar de café a ser implantada deve ser baseada na produtividade, qualidade e tamanho dos grãos, visando agregação de valor ao produto. Neste contexto, o objetivo deste experimento foi avaliar a morfologia do sistema radicular e os parâmetros vegetativos, produtivos e de qualidade de bebida de cultivares de cafeeiros na Região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. O experimento foi realizado em área irrigada por gotejamento na Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, no delineamento em blocos casualizados, com seis cultivares de *Coffea arabica* L (Acauã Novo, Bourbon Amarelo IAC J10, Catuaí Vermelho IAC 99, IAC 125 RN, Paraíso MG H 419-1 e Topázio MG-1190). De agosto de 2022 a maio de 2023 foram realizadas avaliações de crescimento, sendo analisados o número de ramos plagiotrópicos e nós por ramo, comprimento de ramos plagiotrópicos e a relação de nós produtivos e não produtivos. Em fevereiro de 2023 foram estimados os seguintes parâmetros 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 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$ e diâmetro médio das raízes (DM), em milímetro. Em julho de 2023, foi realizada a colheita do café por meio de derriça manual no pano, sendo avaliados a produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg ha^{-1}), percentual de frutos verde, verde cana, cereja, passa e seco, grau brix, rendimento, renda, análise sensorial e classificação quanto ao tamanho e formato de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância e, detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As cultivares Bourbon Amarelo IAC J10, IAC 125 RN, Paraíso MG 419-1 e Topázio MG 1190 apresentaram diâmetro radicular superior aos demais tratamentos, com valor médio de 0,471 mm. Para massa seca, o Acauã Novo foi a cultivar que apresentou a menor média (0,44 g) em relação ao Bourbon Amarelo e Topázio. As cultivares IAC 125 RN, Catuaí Vermelho IAC 99 e Bourbon Amarelo IAC J10 se destacaram no tamanho de grãos, apresentando maior porcentagem destes grãos retidos nas peneiras 17 acima, com valor médio de 41,58%. A cultivar Topázio MG-1190 possui melhor arquitetura relacionado aos parâmetros biométricos em relação aos demais tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: cafeicultura, material genético, potencial produtivo, raiz.

ABSTRACT

The choice of a coffee cultivar to be chosen must be based on the productivity, quality and size of the beans, aiming to add value to the product. In this context, the aim of this experiment was to evaluate the morphology of the root system and the vegetative, productive and drinking quality parameters of coffee cultivars in the Alto Paranaíba region, Minas Gerais. The experiment was carried out in a drip-irrigated area at the Federal University of Uberlândia, Campus Monte Carmelo, in a randomized block design, with six cultivars of *Coffea arabica* L (Acauã Novo, Bourbon Amarelo IAC J10, Catuaí Vermelho IAC 99, IAC 125 RN, Paraíso MG H 419-1 and Topázio MG-1190). From august 2022 to may 2023, growth parameters were carried out, analyzing the number of plagiotropic branches, number of nodes per branch, length of plagiotropic branches and the relationship of productive and non-productive nodes. In february 2023, the following parameters associated with coffee tree root morphology were estimated: total root dry matter mass per volume of soil (MST), in mg cm^{-3} ; total root length per soil volume (CT), in cm cm^{-3} ; total root volume per soil volume (VT), in $\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$; total root area per soil volume (AT), in $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$ and average root diameter (DM), in millimeter. In July 2023, the coffee was harvested by manual stripping on the cloth, evaluating productivity (processed bags of 60 kg ha^{-1}), percentage of green, green cane, cherry, raisin and dry fruits, brix degree, yield, income, sensory analysis and classification regarding grain size and shape. The data were subjected to analysis of variance and, if significant differences were detected, the means were compared using Tukey's test at 5% probability level. The cultivars Bourbon Amarelo IAC J10, IAC 125 RN, Paraíso MG 419-1 and Topázio MG 1190 showed a higher root diameter than the other treatments, with an average value of 0.471mm. For dry mass, Acauã Novo was the cultivar that presented the lowest average (0.44 g) in relation to Bourbon Amarelo and Topázio. The cultivars IAC 125 RN, Catuaí Vermelho IAC 99 and Bourbon Amarelo IAC J10 stood out in terms of grain size, presenting a higher percentage of these grains retained in sieves 17 above, with an average value of 41.58%. The cultivar Topázio MG-1190 has better architecture related to biometric factors in relation to the other treatments.

KEYWORDS: coffee growing, genetic material, productive potential, root.

1 INTRODUÇÃO

O café participa ativamente na economia brasileira, sendo uma das *commodities* mais importantes para o país, além de empregar direta e indiretamente aproximadamente 10 milhões de pessoas, considerando o processo de produção nas fazendas até a comercialização (Molin *et al.*, 2010). O Brasil é considerado o maior produtor e exportador de café do mundo, produzindo 55,07 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado na safra de 2023, destacando-se o estado de Minas Gerais, responsável por 52,66% da produção total do país (Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, 2023).

O Cerrado Mineiro é uma importante região produtora de café no Brasil, sendo a primeira a conquistar a Denominação de Origem no país, o que garantiu a melhoria do café produzido e sua rastreabilidade, permitindo alcançar o mercado externo com a possibilidade de melhores preços do produto (Nagai, Santini Pigatto, Lourenzani, 2016). Entretanto, a produtividade média brasileira é baixa (27,7 sacas ha⁻¹) considerando o potencial produtivo do cafeeiro (Conab, 2023; Fialho *et al.*, 2010). Neste contexto, o Brasil, mantendo a posição mundial em produção e qualidade dos cafés produzidos, passou a investir em programas de melhoramento genético, promovidos pelas instituições de pesquisa como Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Fundação Procafé, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) com o objetivo de tornar o cafeeiro mais produtivo, com características relevantes de qualidade de bebida e tolerantes a estresses bióticos e adaptação às condições edafoclimáticas.

Nesse viés, o Brasil é um país beneficiado em relação à quantidade de cultivares disponibilizadas ao cafeicultor, apresentando 124 cultivares de café arábica registradas no Registro Nacional de Cultivares (MAPA, 2024), com diferenças com relação ao porte, ciclo de maturação e resistência a pragas e doenças. Apesar desta grande diversidade, aproximadamente 40 cultivares são usadas comercialmente em larga escala, em parte devido ao pouco conhecimento sobre as vantagens, desempenho agrônomo e características das novas cultivares disponíveis para plantio (Carvalho *et al.*, 2022).

A manifestação do potencial genético é afetada principalmente pela adaptação da cultivar à região de cultivo e manejo adotado na lavoura. A escolha do material genético deve, portanto, ser embasada em características fisiológicas e morfológicas que favoreçam a adaptação relacionando microclima, solo, manejo e presença ou não de fitonematoides. O

sistema radicular é responsável por processos vitais na planta, como: extração de água e íons do solo e sustentação da planta à superfície na qual ela se desenvolve. Além disso, realiza a síntese de compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo hormônios vegetais como ácido abscísico e citocininas. Armazena fotoassimilados produzidos na parte aérea podendo ser translocados para outras partes da planta com o objetivo de suprir demandas nutricionais das fases fenológicas como florescimento e frutificação que representam forte dreno para a planta (Zonta *et al.*, 2018).

A arquitetura do sistema radicular é determinada geneticamente, porém, a disponibilidade de água, nutrientes e características físicas do solo, podem alterar a forma das raízes e ângulo de crescimento em relação à gravidade. Neste contexto, obter dados sobre a quantidade, qualidade e distribuição das raízes é importante na agricultura, possibilitando a melhor tomada de decisão sobre o manejo da lavoura relacionadas à irrigação, fertilidade do solo, adubação e espaçamento da cultura. Portanto, o estudo da distribuição e volume das raízes em relação à profundidade e distância do ramo ortotrópico se torna importante, visando escolher a cultivar a ser plantada de acordo com as características da região.

2 OBJETIVO

Avaliar a morfologia do sistema radicular e os parâmetros vegetativos, produtivos e de qualidade de bebida de cultivares de cafeeiros na Região do Alto Paranaíba, Minas Gerais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura do cafeeiro

A cultura do cafeeiro foi introduzida no Brasil em 1727, no estado do Pará, por meio de sementes e mudas oriundas da Guiana Francesa. No século XIX foram implantadas as primeiras lavouras cafeeiras nos estados de São Paulo e Minas Gerais, onde o clima e solo eram favoráveis (Matiello *et al.*, 2020). A primeira cultivar de café arábica plantada no Brasil foi a Typica,

cultivada por mais de um século por produtores brasileiros com os nomes de café nacional, arábica e crioulo (Carvalho *et al.*, 2022). Nesse viés, a cultura teve grande papel nos desbravamentos das regiões brasileiras e hoje, representa grande parte da economia do país.

O parque cafeeiro em 1961 era estimado em apenas 4,1 bilhões de plantas, passando por variações no decorrer do tempo chegando a 7,2 bilhões no ano agrícola de 2018/2019, ocupando 2,16 milhões de hectares no Brasil (Matiello *et al.*, 2020). Atualmente, o parque cafeeiro é de 2,23 milhões de hectares, chegando a 7,68 bilhões de plantas e produtividade média de 29,4 sacas por hectare de café (Conab, 2023).

O cafeeiro pertence à divisão das Fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Eudicotiledônea, ordem Rubiales, família Rubiaceae e gênero *Coffea*. Embora exista uma grande diversidade do gênero *Coffea*, apenas *C. arabica* e *C. canephora* são cultivadas, representando praticamente a totalidade do café comercializado no mundo (Alves, 2008). O café arábica é o mais cultivado no país. De acordo com o levantamento da Conab (2023), a área destinada à cafeicultura nacional em 2023 foi de 2,235 milhões de hectares, sendo a área destinada para o cultivo com café arábica de 1,816 milhão de hectares nesta safra, o que corresponde a quase 81% da área total destinada à cafeicultura nacional. Minas Gerais possui 1,323 milhão de hectares de café arábica, sendo o estado com a maior área em produção e formação de café, sendo responsável por 60% de toda a área cultivada no país.

A bienalidade das produções, ou seja, uma alta produtividade seguida da baixa, é um dos problemas evidenciados na cafeicultura moderna, característica esta que representa o cultivo do cafeeiro no mundo. Por ser realizado a pleno sol, ocasiona o esgotamento da planta em uma safra alta, passando o ano seguinte na recuperação e crescimento de ramos plagiotrópicos resultando em baixas produtividades. Ou seja, nos anos de alta produtividade, a produção de fotossintetizados é direcionada à formação e enchimento dos frutos. Nos anos de baixa produtividade estes são destinados à formação de novas gemas, que formarão novos ramos (Pereira *et al.*, 2011). Outro fator importante são as condições edafoclimáticas como geadas e estiagens prolongadas, que afetam desde o pegamento da florada e má granação dos frutos no ano seguinte (Matiello *et al.*, 2020).

A arquitetura do cafeeiro é formada sobre uma copa, cujos ramos apresentam um dimorfismo relacionado com a direção do seu crescimento. Aqueles que crescem no sentido vertical são denominados de ramos ortotrópicos, enquanto aqueles que se desenvolvem na direção horizontal, crescendo lateralmente, são os plagiotrópicos. A espécie *C. arabica* desenvolve uma única haste ortotrópica, a partir da retomada do desenvolvimento do eixo embrionário, durante a germinação, até que a muda atinja de oito a dez pares de folhas. A forte

dominância apical nesse estágio de desenvolvimento, gera a ausência de ramos plagiotrópicos inibindo brotações laterais sobre as gemas localizadas nas axilas foliares que podem se diferenciar apenas em folhas ou ramos e, raramente, frutos. Estas gemas, geralmente em número de 5 a 6, são denominadas de seriadas e a primeira gema do conjunto é chamada de cabeça-de-série (Alves, 2008). Quando esta dominância apical é perdida, pela síntese de hormônios, poda ou danificado por acidente e insetos, as gemas dormentes ou gemas seriadas, são ativadas produzindo outros ramos ortotrópicos que, na prática, são chamados "ladrões", sendo uma característica indesejável à lavoura (Matiello *et al.*, 2020).

O sistema radicular do cafeeiro é concentrado, em sua maioria, na projeção de copa da planta, fenômeno explicado devido as boas características de fertilidade, aeração e umidade do solo (Matiello *et al.*, 2020). A profundidade de um sistema radicular do cafeeiro em condições ideais, solo bem estruturado e com boa fertilidade em camadas profundas, pode ultrapassar dois metros de profundidade, porém, aproximadamente metade da densidade de raízes ficam nos primeiros 60 cm de solo (Alves, 2008). Segundo Quinto *et al.* (2016) este sistema radicular é composto por raízes de diâmetro reduzido (menores que 5 mm de diâmetro) e raízes grossas com mais de 5 mm de diâmetro.

As raízes do cafeeiro podem ser do tipo pivotante, geralmente pouco desenvolvidas e podem ser ausentes. Em casos de plantio mal executado com mudas com enovelamento no fundo do saquinho e sem o manejo adequado causam o fenômeno conhecido como “pião torto”. Além disso, estas raízes geralmente não ultrapassam quarenta e cinco centímetros de profundidade. Raízes secundárias são ramificações da raiz principal, podendo variar em raízes do tipo axial conhecidas por estar logo abaixo do tronco com profundidade média de dois metros, porém, influenciadas por condições de manejo, como por exemplo irrigação, que pode reduzir a sua profundidade e raízes laterais de superfície que crescem de forma paralela ao solo (Alves, 2008).

A planta do cafeeiro demonstra um maior potencial produtivo quando é possível observar o equilíbrio da parte aérea e sistema radicular (Gómez-González *et al.*, 2018). São independentes porque crescem em períodos diferentes e complementares no exercício de suas funções. As raízes são as fontes de nutrientes e água, além de hormônios, enquanto a parte aérea é a fonte principal de carboidratos. Se o ambiente é constante, uma relação linear é encontrada entre a massa da parte aérea e o sistema radicular durante o crescimento da planta (Alves, 2008).

O sistema radicular está diretamente associado à produtividade do cafeeiro, considerando o estresse hídrico um dos maiores motivos de perdas em produtividade. Um sistema radicular profundo e bem estruturado traz benefícios à cultura, e hoje é motivo de

pesquisa em vários países do mundo. Xiong *et al.* (2021) verificaram, na cultura da soja, benefícios de rendimento de 0,32–0,44 t ha⁻¹ em plantas com sistema radicular com profundidade acima de 60 cm, devido à maior eficácia na extração da água do solo.

A arquitetura do sistema radicular determina a capacidade das culturas para obter água e nutrientes. O comprimento da raiz, a área da superfície da raiz e o volume da raiz afetam diretamente a capacidade das culturas em absorver e transportar água e nutrientes. Para o sistema radicular, as raízes principais e laterais têm um ápice. O ápice é a parte mais ativa da vida da raiz e desempenha um papel importante na absorção de nutrientes. Normalmente, os pelos radiculares tem uma área madura na ponta da raiz, que possui uma vida útil de apenas 1 a 2 semanas. Depois que os pelos da raiz morrem, a zona de alongamento irá gerar novos pelos radiculares para complementar e mudar a posição das raízes no solo para absorver nutrientes (Piekarska-Stachowiak e Nakielski, 2013).

A formação de pelos radiculares aumenta a área de absorção de nutrientes pelas raízes, porém, estes são suscetíveis à disponibilidade de umidade do solo e se desenvolvem mal em solos áridos. Um bom manejo da lavoura mantendo um solo bem estruturado e preservando a cobertura do solo, proporcionam boas condições para estabelecimento das raízes ao solo. Portanto, a transferência de nutrientes para a superfície da raiz é uma forma importante para as plantas obterem nutrientes (Dayan, Watson e Nanayakkara, 2007; Kanase, Guhey, Gawas, 2019).

O crescimento e desenvolvimento normal das culturas é resultado da coordenação de funções morfológicas. As respostas das plantas ao estresse hídrico foram aprimoradas, onde o crescimento da raiz inibe o crescimento da parte aérea, resultando em um aumento na razão raiz/parte aérea (Sharp *et al.*, 2004). Portanto, por meio do estudo do sistema radicular do cafeeiro é possível diagnosticar genótipos com melhores características para tolerância à seca, melhor aproveitamento de nutrientes e água disponibilizada na irrigação.

3.2 Cultivares de *Coffea arabica* L.

A grande expansão da cafeicultura no Brasil gerou a necessidade de linhagens mais produtivas e tolerantes a estresses bióticos e abióticos. Apesar do vasto número de cultivares registradas no Registro Nacional de Cultivares, todas apresentam, em geral, boa capacidade produtiva quando empregadas nas condições ideais para seu desenvolvimento. Nesse viés, o

sucesso da atividade cafeeira está na escolha adequada da cultivar, de acordo com altitude, região e nível tecnológico de cada produtor.

O melhoramento genético do cafeeiro só foi possível pela forte parceria de instituições de pesquisa que fomentaram a evolução da cafeicultura no país. Por meio do melhoramento genético, atualmente, a cafeicultura possui grande diversidade de cultivares disponíveis, com características de resistência às pragas e doenças e maior tolerância a seca, associadas à excelente qualidade de bebida (Medina Filho, Bordignon, Carvalho, 2008).

A cultivar Acauã Novo foi desenvolvida pelo cruzamento entre ‘Mundo Novo IAC 388-17’ e Sarchimor IAC 1668, realizado por técnicos do Instituto Brasileiro do Café - IBC, no Paraná, na década de 1970. Posteriormente, por meio de seleções de progênies da cultivar Acauã em segregação (Carvalho *et al.*, 2022), foi originado o Acauã Novo. É caracterizada pelo porte baixo, altas produtividades e resistente à ferrugem-do-cafeeiro. Difere do ‘Acauã’ por apresentar brotos verdes, maturação um pouco mais precoce, menor percentagem de grãos do tipo moca e copa menos densa. Recomendada para regiões cafeeiras do Sul de Minas e Cerrado Mineiro e para áreas infestadas com *M. exigua*. O ciclo de maturação é tardio e os frutos, quando maduros, apresentam coloração vermelho-escuro com formato alongado de tamanho médio (Carvalho *et al.*, 2008).

Para o Bourbon Amarelo IAC J10 há duas hipóteses sobre a origem do café de frutos amarelos: a mutação na cultivar Bourbon Vermelho que alterou a cor do fruto de vermelha para amarela; e hibridação espontânea entre ‘Amarelo de Botucatu’ (derivada de ‘Typica’) e ‘Bourbon Vermelho’. A cultivar ‘Bourbon Amarelo IAC J10’ foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). É caracterizada pelo porte alto e diâmetro de copa grande, porém, apresenta baixo vigor. Produz brotações novas em verde claro e bronze possuindo produtividade média de 25 sacas ha^{-1} , altura de 2,4 a 2,8 m quando adultas, diâmetro de copa de 2,2 a 2,4 m, suscetibilidade à ferrugem e nematoides, tamanho de fruto médio e excelente qualidade de bebida, podendo ser usada para cultivos visando atender mercados especiais (Fazuoli *et al.*, 2008).

O Catuaí Vermelho IAC 99 é oriundo da recombinação de cruzamentos entre as cultivares Caturra Amarelo IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19. Apresenta características como altura entre 2,0 e 2,4 m e diâmetro de copa entre 1,7 m e 2,1 m, podendo ultrapassar essas medidas em algumas regiões. Possui sistema radicular bem desenvolvido, cuja produtividade média de café beneficiado pode variar entre 30 a 40 sacas de 60 kg ha^{-1} , podendo chegar a 100 sacas beneficiadas ha^{-1} nos anos de bienalidade positiva. A cultivar apresenta maturação tardia e formato do fruto oblongo de tamanho médio. Porém, deve ser levado em consideração que as

cultivares do grupo Catuaí, com exceção do Catuaí IAC SH3, apresentam suscetibilidade à ferrugem-do-cafeeiro (Carvalho *et al.*, 2008)

A cultivar IAC 125 RN foi desenvolvida a partir de sementes do híbrido CIFIC H361/4 (cultivar Villa Sarchi x Híbrido de Timor CIFIC 832/2). Apresenta resistência a *M. exigua* e à ferrugem-do-cafeeiro. Trata-se de uma cultivar altamente produtiva e que apresenta elevada porcentagem de sementes na peneira 17 acima, o que é uma característica de interesse comercial muito boa, além de apresentar precocidade na maturação dos frutos (Fazuoli *et al.*, 2018). É exigente em nutrição e mais sensível à seca que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. O cultivo comercial é recomendado para lavouras irrigadas e adensadas e regiões de altitude elevada (Carvalho *et al.*, 2022).

A cultivar Paraíso MG H 419-1 foi desenvolvida a partir do cruzamento entre ‘Catuaí Amarelo IAC 30’ e Híbrido de Timor UFV 445-46 realizado pela Epamig e instituições parceiras. Caracterizada pela coloração amarela dos frutos, porte baixo e diâmetro de copa pequeno, possui brotações novas em cor verde, com tamanho de grãos grandes e época de maturação média. Possui alto vigor vegetativo, resistência à ferrugem e ao *M. exigua*. Apresenta excelente resposta à poda (Carvalho *et al.*, 2008).

A cultivar Topázio MG-1190 foi gerada pelo cruzamento entre as cultivares Mundo Novo e Catuaí Amarelo em 1960 no IAC, sendo realizados posteriormente seleções dos melhores materiais. Caracterizada pelo elevado vigor vegetativo, porte baixo, excelente produtividade, fruto de formato oblongo e tamanho médio, com coloração amarela quando maduro e ciclo médio de maturação. Apresenta suscetibilidade à ferrugem-do-cafeeiro e nematoides (Carvalho *et al.*, 2008) Posteriormente, o desenvolvimento da cultivar foi realizado pela Epamig e instituições parceiras. Bastante cultivada no Sul de Minas e no Cerrado Mineiro. Não tolera locais com acúmulo de ar frio. Adaptada à colheita mecanizada e responsiva à poda do tipo esqueletamento (Carvalho *et al.*, 2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, localizado nas coordenadas geográficas 18°43'37,26" S e 47°31'24,24" O e altitude de 903 m (Figura 1). O plantio da lavoura foi realizado em janeiro de 2015, utilizando-se o espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. Os sulcos foram adubados com 7,0 L

de composto orgânico de origem bovina e 195 g de superfosfato simples por cova. No plantio, foi realizada a correção do solo com 300 g m⁻¹ de calcário com PRNT igual a 85%. No sulco de plantio, foi realizada a aplicação de 400 g m⁻¹ de gesso, 350 g m⁻¹ de fosfato (37% de P₂O₅) e 2,0 kg m⁻¹ de composto orgânico de cama de frango.

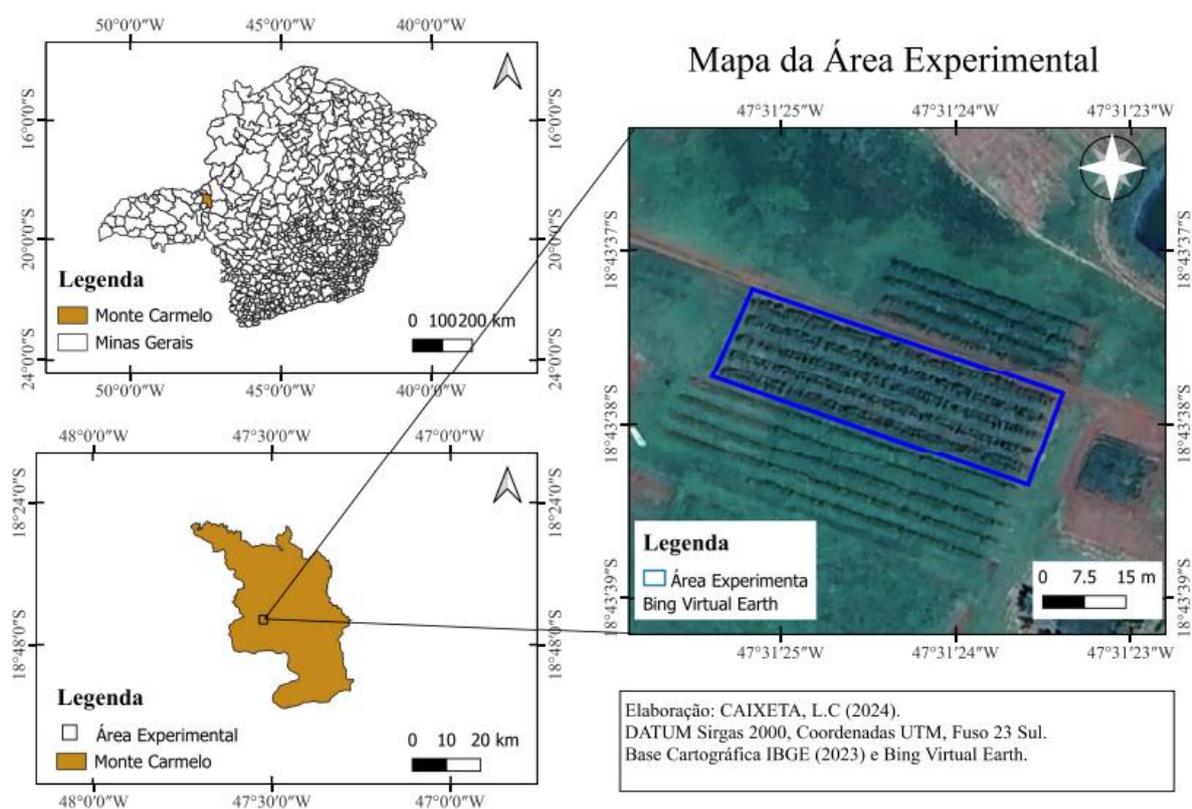


Figura 1. Mapa de localização geográfica da área experimental.

A área experimental apresentava sistema de irrigação localizado com gotejadores UniRam 1,6 L h⁻¹ espaçados a 0,60 m e o manejo da irrigação foi realizado pela leitura diária de tensiômetros nas profundidades de 20, 40 e 60 cm (Figura 3). Foram utilizadas quatro baterias de tensiômetros, todas elas instaladas nas parcelas da cultivar Topázio MG – 1190. Para facilidade do manejo da irrigação foi criada uma planilha para cálculo instantâneo da lâmina e tempo de irrigação considerando até 0,6 m de profundidade. Devido ao uso compartilhado da bomba de irrigação com outros experimentos, foi adotado turno de rega diário, a partir do cálculo da lâmina de irrigação por meio da diferença de tensão da água no solo, repondo umidade para a capacidade de campo, no intervalo de no mínimo uma hora de irrigação a no máximo três horas diárias. Na Figura 2 é possível observar o comportamento da temperatura média e precipitação na área experimental durante a condução da pesquisa.

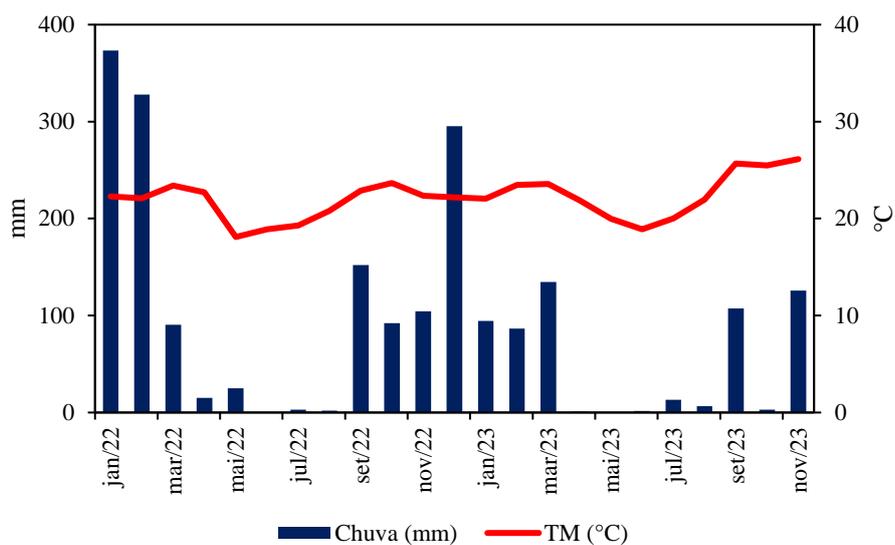


Figura 2. Precipitação (mm) e temperatura média (°C) na área experimental no período de janeiro de 2022 a novembro de 2023. Fonte: Estação meteorológica instalada na UFU – Campus Monte Carmelo - Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados.



Figura 3. Tensiômetros para manejo da irrigação.

Ao final do ciclo, considerando o período de agosto de 2022 a agosto de 2023, a evapotranspiração de referência (ET_0) média foi de $4,5 \text{ mm dia}^{-1}$, um total de 1.288,1 mm de chuva e 112,2 mm realizados pela irrigação, totalizando 1400,3 mm no ano agrícola. A Figura 4 representa o comportamento da chuva, irrigação e armazenamento de água no solo de março a agosto de 2023.

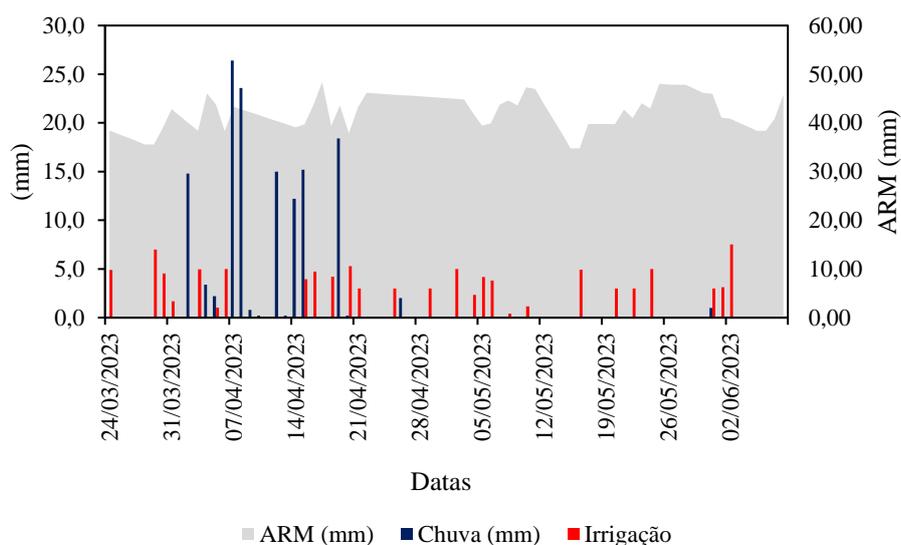


Figura 4. Comportamento do armazenamento de água no solo, chuva e eventos de irrigação no período de março a agosto de 2023.

O delineamento da área experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições e seis tratamentos, representados por cultivares de *C. arabica* (Catuaí Vermelho IAC 99, Topázio MG-1190, IAC 125 RN, Acauã Novo, Bourbon Amarelo IAC J10 e Paraíso MG H 419-1) (Figura 5). Cada parcela foi composta por 10 plantas, considerada útil as seis plantas centrais. O experimento apresentou 30 parcelas, totalizando uma área de 630 m².

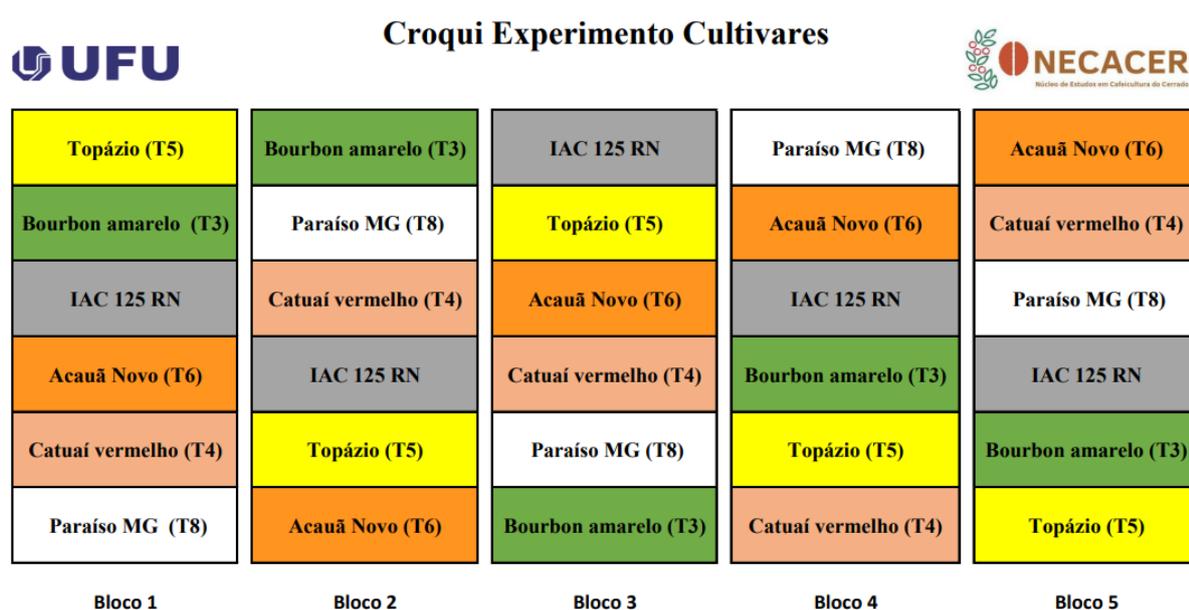


Figura 5. Croqui do experimento.

Foram realizadas adubações químicas e orgânicas, além de aplicações foliares conforme recomendação de Guimarães *et al.* (1999). Ao longo da condução do experimento, foi realizada a amostragem de solo na profundidade de 0-0,20 m para análise química e recomendação de adubação (Tabela 1). O solo apresentou 74,5% de argila, 15,5% de areia e 10% de silte na camada de 0-0,20 m, sendo classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa (Santos *et al.*, 2018).

Tabela 1. Caracterização química do solo na área experimental na profundidade de 0-0,20 m, nos anos de 2014 a 2023

Característica	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022*	2023
pH (H ₂ O)	6,2	5,8	5,5	5,6	5,8	5,2	5,8	5,5	5,8	5,4
P - mg dm ⁻³ meh.	38,8	6,4	18,6	12,2	7,3	12,6	32,0	18,8	31,4	8,2
K - mg dm ⁻³	260,0	154,0	134,0	104,0	91,0	165,0	114,0	138,0	174,5	126,0
Ca ²⁺ - cmolc dm ⁻³	2,8	1,1	3,8	2,8	2,7	3,2	3,5	1,9	3,1	2,7
Mg ²⁺ - cmolc dm ⁻³	1,2	0,8	1,5	0,9	1,0	0,9	0,7	0,6	1,1	0,6
Al ³⁺ - cmolc dm ⁻³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
H+Al - cmolc dm ⁻³	2,6	3,4	2,2	3,0	3,8	3,3	1,6	2,1	2,3	4,7
SB - cmolc dm ⁻³	4,7	2,3	5,6	3,9	3,9	4,3	4,5	2,9	4,7	3,7
t - cmolc dm ⁻³	4,7	2,3	5,6	3,9	3,9	4,5	4,5	3,0	4,7	3,7
T - cmolc dm ⁻³	7,3	5,7	7,8	6,9	7,7	7,7	6,1	5,0	7,0	8,4
V - %	64,0	40,0	72,0	57,0	51,0	57,0	74,0	58,0	66,4	44,0
m - %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,0	0,6	2,0
Zn - mg dm ⁻³	4,3	2,9	4,7	2,9	2,5	2,8	4,2	2,8	10,2	6,7
Fe - mg dm ⁻³	81,0	20,0	21,0	26,0	22,0	20,0	23,0	29,0	28,6	17,0
Mn - mg dm ⁻³	3,3	4,2	3,1	1,8	1,7	4,2	3,5	4,3	15,4	11,3
Cu - mg dm ⁻³	2,7	2,3	2,0	3,7	2,7	3,5	4,3	3,6	3,9	2,6
B - mg dm ⁻³	0,1	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4	0,27	0,9	0,4	0,5

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

SB: Soma de bases; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; M.O: Matéria orgânica.

Métodos de extração: P, K, Na = Mehlich⁻¹; 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% à quente]; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA.

*Métodos de extração: P, K, Fe, Mn, Cu = Mehlich⁻¹; Ca, Mg, Al = KCl mol/L; B = água quente; S-SO₄²⁻ = Fosfato monocálcico em ácido acético.

Para o cálculo da adubação safra 2022/2023, foi considerada uma estimativa de 60 sacas por hectare, sendo recomendada uma dose de 400 kg de N ha⁻¹ e 200 kg de K₂O ha⁻¹. Para P₂O₅ foi utilizada a recomendação para solos de Cerrado (Sousa e Lobato, 2004), totalizando 40 kg ha⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2. Cronograma das adubações e doses de fertilizantes aplicados (kg ha^{-1}) no experimento.

Adubo	Out	Nov	Dez	Jan
05-26-00 organomineral	153,8	-	-	-
Ureia (45% de N)	222,2	222,2	222,2	222,2
KCl (60% de K_2O)	88,8	88,8	88,8	66,9

O manejo fitossanitário foi realizado com base em amostragens de 50 folhas na área experimental para quantificação da porcentagem geral do experimento em relação às principais doenças e pragas do cafeeiro e posterior determinação da necessidade de pulverizações na lavoura. Para o controle de doenças fúngicas foram aplicados, com auxílio de bomba costal, fungicidas à base de óxido cuproso, triazois e estrobirulinas, como o ciproconazol e a azoxistrobina na vazão de 400 L ha^{-1} . O controle de bicho-mineiro-do-cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) foi realizado com flupiradifurona, alfa-cipermitrina e cloridrato de cartape. Para manejo da broca (*Hypothenemus hampei*) e ácaro-da-leprose (*Brevipalpus phoenicis*) foi aplicado etiprole e propargito, respectivamente, na vazão de 500 L ha^{-1} . Foram utilizados produtos via *drench* no solo à base de tiametoxan, para controle de bicho-mineiro-do-cafeeiro, ciproconazol para controle de ferrugem-do-cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) e fluensulfona para controle de *Meloidogyne exigua*. Para o manejo de plantas daninhas foi utilizado o pós-emergente glifosate e o pré emergente oxifluorfen para proporcionar uma faixa sem a competição de mato na projeção da copa (Figura 6). No centro da entrelinha foi utilizada a roçadora manual para corte da matéria orgânica e cobertura do solo.



Figura 6. Manejo de plantas daninhas no experimento.

Em fevereiro de 2023 foram estimados, em 24 parcelas experimentais, os seguintes parâmetros associados à morfologia radicular do cafeeiro: massa seca total de raízes por volume de solo (MST), em mg cm^{-3} ; comprimento total de raízes por volume de solo (CT), em cm cm^{-3} ; volume total de raízes por volume de solo (VT), em $\text{mm}^3 \text{ cm}^{-3}$; área total de raízes por volume

de solo (AT), em $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$ e diâmetro médio das raízes (DM), em milímetros. As amostragens de raízes foram realizadas em três posições, sob a copa do cafeeiro: posição 1, entre duas plantas adjacentes, no mesmo alinhamento dos caules na linha de plantio; posições 2 e 3, numa distância de 0,15 e 0,30 m do caule, respectivamente, no sentido perpendicular à linha de plantio (Figura 7 B). Em cada posição de coleta, amostras de solo foram retiradas na profundidade de 0,20 m e na posição 1 a 0,20 - 0,40 m (Figura 7 A). As amostras foram retiradas por meio de um trado semelhante ao cilindro do trado Uhland, para coleta de amostra de solo e raízes com volume de 400 cm^3 . Com o auxílio de uma trena foi aferida a profundidade de coleta (Figura 7 C) e distância entre pontos de amostragem (Figura 7 D).

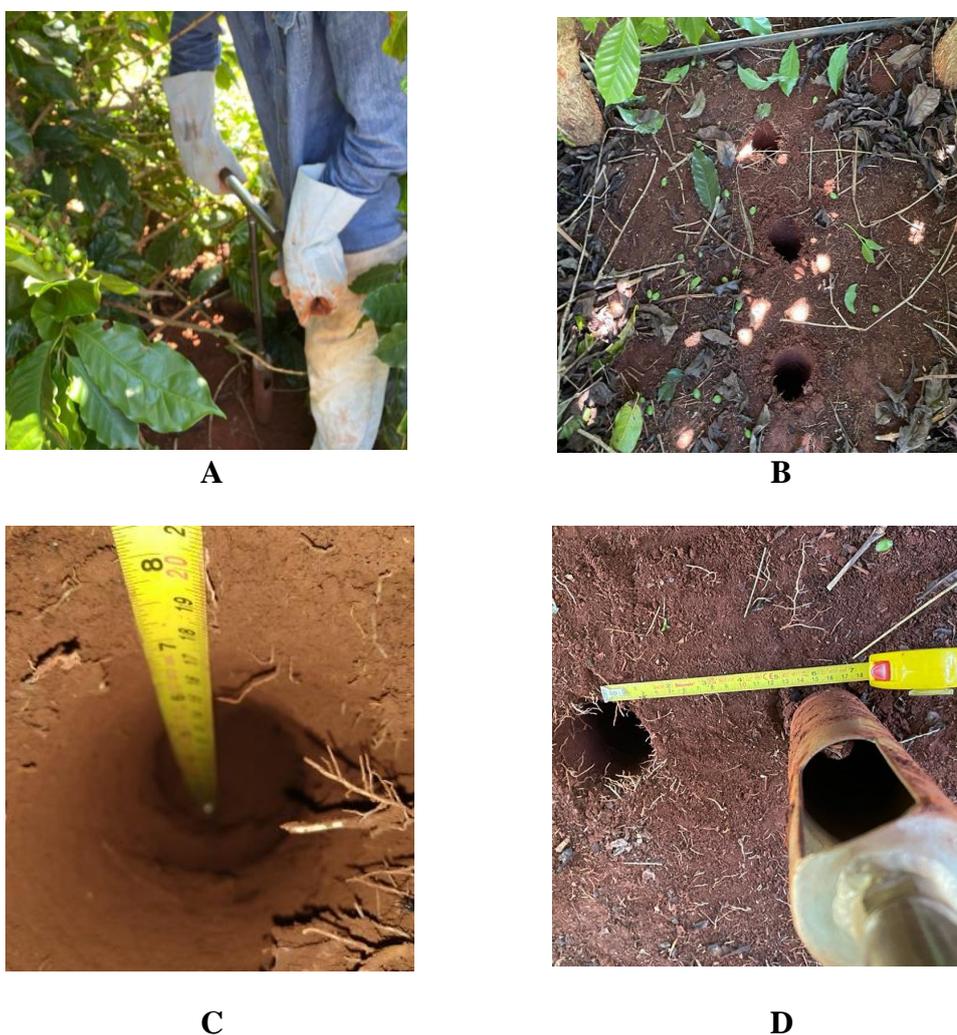


Figura 7. Amostragem com trado (A), Posicionamento dos pontos amostrados (B), Verificação da profundidade de amostragem (C), Verificação da distância entre pontos (D).

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, levadas para o laboratório e armazenadas em geladeira até o processamento. Posteriormente, foram lavadas em água corrente, em peneiras de malha inferior a $1,0 \text{ mm}$ (Figura 8 A), coloridas com violeta genciana

(5%) e dispostas em papel toalha para retirada do excesso de corante (Figuras 8 B e C). Em seguida, as raízes foram organizadas sobre uma folha de transparência (filme de poliestireno transparente), sem sobreposição. Para produzir um contraste de fundo, foi colocada uma folha de papel branca sobre o conjunto raízes e transparência e todo o conjunto foi escaneado em escala de cinza (Figuras 8 D e E), com resolução de 200 dpi. As amostras de raízes foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até massa constante, para quantificação da massa seca. As imagens digitalizadas foram processadas individualmente com a utilização do programa Safira, desenvolvido pela Embrapa (Jorge e Rodrigues, 2008), com limite de limiarização definido em 110 (parâmetro inerente ao programa). A metodologia foi embasada no trabalho de Ronchi *et al.* (2015).

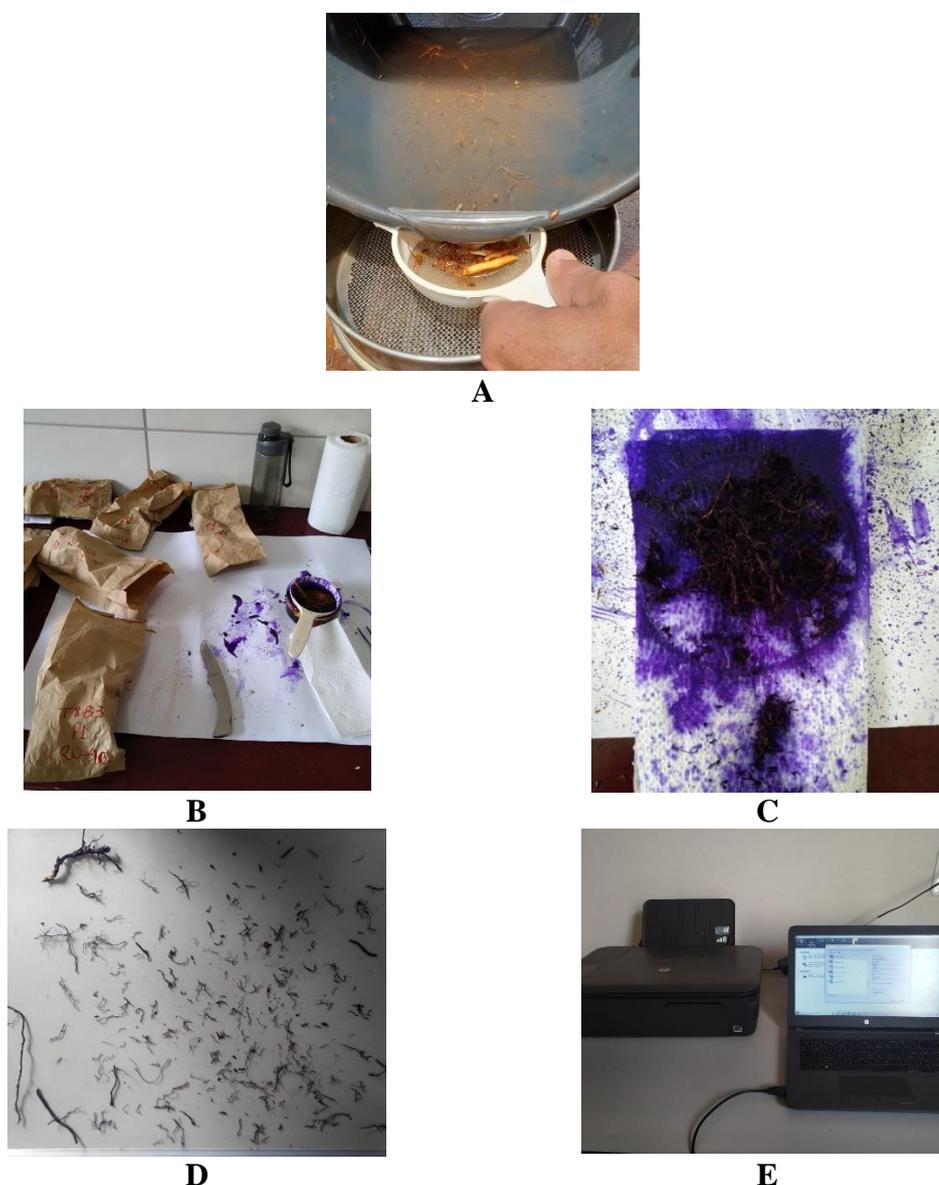


Figura 8. Processo de lavagem das raízes (A), Corante adicionado às raízes (B), Raízes dispostas em papel toalha (C), Raízes em papel cartão A4 (D), Escaneamento das raízes (E).

Em relação aos parâmetros produtivos do cafeeiro, em julho de 2023, foi realizada a colheita semimecanizada nas 30 parcelas experimentais (Figura 9 A), sendo verificado o percentual de frutos verdes abaixo de 5% no terço médio da planta para determinação do início da colheita. A partir do volume total (L) de café colhido por parcela, foi retirada uma amostra representativa de 300 mL de cada parcela para separação dos frutos em diferentes estádios de maturação (verde, verde-cana, cereja, passa e seco) (Figura 9 B).

**A****B****C****D**

Figura 9. Colheita do experimento. (A) Colheita semimecanizada, (B) Uniformidade de maturação, (C) Medição de grau brix, (D) Secagem das amostras em terreiro de cimento.

Para quantificação do grau brix, em cada parcela foram selecionados 15 frutos cerejas e, por meio de um medidor portátil VODEX modelo VX032SG, foi quantificado o grau brix do suco obtido pela compressão dos frutos (Alves, 2009) (Figura 9 C). Foram retiradas de cada parcela uma amostra de 7 L e colocadas em sacos de cebola para secagem em terreiro de cimento (Figura 9 D). Após atingir a umidade de 11% foram determinados a massa e o volume do café em coco. Posteriormente, as amostras foram beneficiadas e determinadas a massa, o volume e a umidade do café. Com base na relação do volume total do café colhido no pano e

da massa da amostra beneficiada foi determinada a produção por parcela, para ser extrapolada para produtividade em sacas por hectare (Fernandes *et al.*, 2020; Caixeta *et al.*, 2022).

Para quantificação do café de varrição, após a colheita do café das seis plantas centrais da parcela e antes da colheita das plantas de bordadura, foi rastelada a área pertencente às seis plantas colhidas da parcela mais meio espaçamento entre plantas de cada lado da extremidade da parcela (Figuras 10 A e B). Após a retirada dos frutos e material vegetal da projeção da copa das plantas, foi realizada a abanação, para separação dos frutos em relação às folhas e galhos (Figuras 10 C e D). Todo o café da parcela foi lavado (Figura 10 E) e secado em sacas de cebola (Figura 10 F). Após a secagem, foram determinados o volume total da parcela e retirada uma amostra de 3 litros para beneficiamento e extrapolação da produtividade em sacas por hectare.

**A****B****C****D****E****F**

Figura 10. Metodologia utilizada para café de varrição. (A) Solo rastelado, (B) Volume total da parcela com material vegetal, (C) Abanação de café, (D) Café livre de material vegetal, (E) Lavagem do café, (F) Secagem em terreno de cimento.

Para a classificação de peneira quanto ao tamanho e formato dos grãos, uma amostra de 100 g de cada parcela experimental foi distribuída em um conjunto de peneiras de crivos circulares (19, 18, 17, 16, 15, 14 e 13/64 avos de polegada) e de crivo oblongo (13, 12, 11, 10, 9 e 8/64 avos de polegada) conforme Instrução Normativa nº 8 de 11 de junho de 2003 (Brasil, 2003).

A diferenciação no tipo de crivo das peneiras permite a separação de dois grupos de formato do grão de café, retendo o café chato nos crivos circulares, enquanto as de crivo oblongo separam o café moca. Posteriormente, foi realizada a separação nas seguintes categorias: chato graúdo: peneiras de tamanho 19, 18 e 17; chato médio: peneiras de tamanho 16 e 15; chato miúdo: peneira de tamanho 14 e menores; moca graúdo: peneiras de tamanho 13, 12 e 11; moca médio: peneira de tamanho 10 e moca miúdo (moquinha): peneira de tamanho 9 e menores. A avaliação da qualidade de bebida foi realizada seguindo o protocolo da *Specialty Coffee Association of America* (SCAA, 2008).

Durante a condução do experimento foram realizadas avaliações trimestrais de crescimento em 24 parcelas experimentais, sendo quantificadas as características número de ramos plagiotrópicos, número de nós, comprimento de ramos plagiotrópicos e a relação de nós produtivos e não produtivos. Em cada planta da parcela foram marcados dois ramos plagiotrópicos, na orientação norte e sul, respectivamente. A partir do primeiro nó produtivo foram realizadas as medições de comprimento do ramo plagiotrópico contabilizando o crescimento em centímetros, e contagem dos nós produtivos, ou seja, que se diferenciaram em flores e conseqüente frutos. Já os nós totais foram contabilizados todos os internódios incluindo nós não diferenciados.

Os dados de crescimento foram submetidos à análise de *Deviance* e para os parâmetros relacionados ao sistema radicular foi utilizado o esquema de parcelas subdivididas no espaço pelo Teste F a 5% de probabilidade utilizando o software R, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey. Para as características relacionadas à produtividade, as análises foram realizadas no programa SPEED Stat pelo Teste F, sendo as médias comparadas pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Carvalho, Mendes, 2017). Para as matrizes de dissimilaridade, distância de Mahalanobis e dendrogramas foi utilizado o software Genes (Cruz, 2008) permitindo verificar a distância entre cultivares de acordo com cada tipo de avaliação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia do sistema radicular

Não houve interação entre os pontos de amostragem com as cultivares do experimento para as variáveis ligadas ao sistema radicular pela análise de variância (Tabela 3). Verificou-se efeito significativo entre as cultivares apenas para diâmetro e matéria seca total de raízes. Já para os pontos de amostragem, houve diferença significativa para comprimento total, volume total, área total, e superfície específica. A interação entre tratamento e amostragem não foi significativa pelo Teste F a 5% de probabilidade para nenhuma variável resposta.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para comprimento total - CT (cm cm^{-3}), volume total - VT ($\text{m}^3 \text{cm}^{-3}$), área total - AT ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), comprimento específico - CE (m g^{-1}) massa seca total - MST (mg cm^{-3}), superfície específica - SE ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) em função de cultivares de café arábica

FV	GL	Quadrado médio		
		CT	VT	AT
Cultivares	5	44,18 ^{ns}	23,70 ^{ns}	312,33 ^{ns}
Bloco	3	20,46 ^{ns}	4,33 ^{ns}	111,15 ^{ns}
Erro a	3	30,86	7,53	164,16
Amostragem	3	237,51 ^{**}	28,86 ^{**}	892,09 ^{**}
Cult. x Amostragem	15	35,19 ^{ns}	5,91 ^{ns}	119,077 ^{ns}
Erro b	45	31,80	5,41	108,28
CV (%) 1		46,36	46,77	52,49
CV (%) 2		47,05	39,65	42,63

FV	GL	Quadrado médio		
		CE	MST	SE
Cultivares	5	171,50 ^{ns}	1,50 ^{**}	921,57 ^{ns}
Bloco	3	260,50 ^{ns}	0,65 ^{ns}	937,22 ^{ns}
Erro a	3	116,84	0,09	380,91
Amostragem	3	89,96 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1184,6 [*]
Cult. x Amostragem	15	150,92 ^{ns}	0,15 ^{ns}	232,78 ^{ns}
Erro b	45	170,05	0,28	389,51
CV (%) 1		72,39	31,20	65,81
CV (%) 2		87,34	53,34	66,55

**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.

As cultivares Bourbon Amarelo IAC J10, IAC 125 RN, Paraíso MG 419-1 e Topázio MG 1190 apresentaram diâmetro radicular superior a Acauã Novo e Catuaí Vermelho (Tabela

4). Para massa seca total, o Acauã Novo foi a cultivar que apresentou a menor média (0,44 g), comparado às cultivares Bourbon Amarelo e Topázio, sendo que as demais cultivares apresentaram desempenho da massa seca similar ao das cultivares mencionadas (Tabela 4).

Como evidenciado por Ronchi *et al.* (2015), o adensamento na linha de plantio pode promover maior quantidade e distribuição quantitativa de raízes por unidade de volume de solo, sendo verificados principalmente pela superfície específica e comprimento específico, o que pode fazer com que as cultivares apresentem o mesmo padrão de distribuição do sistema radicular. O espaçamento reduzido pode ter levado a não identificar diferenças significativas entre as demais características para as cultivares analisadas.

Tabela 4. Médias de comprimento total (CT) (cm cm^{-3}), volume total (VT) ($\text{m}^3 \text{cm}^{-3}$), área total (AT) ($\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$), superfície específica (SE) ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$), comprimento específico (CE) (m g^{-1}), diâmetro (DM) (mm), massa seca (MST) (mg cm^{-3}) de raízes de cafeeiros em função de cultivares de café arábica

Cultivares	CT ^{ns}	VT ^{ns}	AT ^{ns}	SE ^{ns}	CE ^{ns}	DM*	MST*
Acauã Novo	8,70	3,44	15,63	34,73	17,24	0,441 b	0,44 b
Bourbon Amarelo	12,87	6,47	26,18	31,69	19,84	0,467 a	1,15 a
Catuai Vermelho	13,57	6,03	24,44	22,59	16,82	0,439 b	1,06 ab
IAC 125 RN	12,97	6,12	25,07	34,27	11,70	0,466 a	0,94 ab
Paraíso	12,23	7,18	29,24	36,43	13,27	0,463 a	0,99 ab
Topázio	11,80	6,11	25,71	15,25	11,31	0,489 a	1,41 a
Amostragem	CT**	VT**	AT**	SE*	CE ^{ns}	D ^{ns}	MS ^{ns}
I 0-20	14,7 a	6,76 a	30,15 a	35,4 a	11,2	0,451	0,79
I 20-40	7,7 b	4,36 b	16,22 b	18,8 b	17,1	0,470	1,18
II 15 cm	14,1 a	6,73 a	28,38 a	34,4 ab	13,9	0,453	0,96
III 30 cm	12,1 ab	5,93 ab	23,58 ab	31,4 ab	17,2	0,470	1,06

*Significativo a 0,05 de probabilidade; **Significativo a 0,01 de probabilidade; ns: não significativo, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Para os diferentes pontos de amostragem, as variáveis comprimento total, volume total, área total, e superfície específica apresentaram as maiores médias nas camadas de 0-0,20 m em relação à profundidade de 20 a 40 cm, indicando maior quantidade e distribuição de raízes nas camadas superficiais e próximas ao tubo gotejador, como evidenciado por Barreto *et al.* (2006) e Vicente *et al.* (2019). Portanto, na camada de 0,20-0,40 m foi observada a menor quantidade de raízes. Em geral, a maior parte das raízes finas do café estão nos primeiros 20 centímetros do solo. Estes resultados estão em consonância com várias fontes de pesquisa, incluindo

Schaller *et al.* (2003), Cardoso *et al.* (2003), van Katen *et al.* (2005) e Padovan *et al.* (2015). Esses estudos apontam que mais de 70% do total de raízes finas do café, com diâmetro inferior a 2 milímetros, estão concentrados nos primeiros 30 centímetros do perfil do solo.

O desenvolvimento mais pronunciado do sistema radicular sob o tubo gotejador pode ser atribuído à preservação da umidade do solo próxima à zona de irrigação, conforme discutido por Souza *et al.* (2018). Vários autores observaram uma maior concentração de raízes de café nas camadas superiores (Covre *et al.*, 2015; Vicente *et al.*, 2017; Dardengo *et al.*, 2018). Uma possível explicação para a maior distribuição das raízes até uma profundidade de 20 centímetros é a influência do sistema de irrigação por gotejamento, em função da irrigação ser localizada, com uma frequência elevada e baixo volume de água, o que resulta na manutenção do solo próximo à sua capacidade máxima de retenção de água, também chamada de capacidade de campo.

5.2 Produtividade, maturação e qualidade dos frutos

Verificou-se efeito significativo dos tratamentos para percentual de frutos verdes, cereja, rendimento (L saca⁻¹) e renda (%) ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F e para percentual de frutos verde-cana, passa, seco e produtividade de varrição (sacas ha⁻¹) a 5% de probabilidade. Para as demais variáveis não foram detectadas diferenças entre as cultivares (Tabela 5).

É importante destacar que a média de produtividade obtida no experimento (137,98 sacas ha⁻¹) foi maior em relação à média brasileira (26,2 sacas ha⁻¹) (Conab, 2023) e a esperada para cálculo de adubação em função do bom manejo de irrigação, adequado manejo de pragas, doenças e plantas daninhas e utilização de materiais genéticos com maior adaptação à região de cultivo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para percentual médio de frutos verde, verde-cana, cereja, passa e seco, produtividade total - PT (sacas ha⁻¹), produtividade da planta – PP (sacas ha⁻¹), produtividade café de varrição – PV (sacas ha⁻¹) rendimento - REND (L saca⁻¹), renda - REN (%) em função de cultivares de café arábica

FV	GL	Quadrado médio				
		Verde	Verde cana	Cereja	Passa	Seco
Cultivares	5	135,20**	55,89*	54,88**	781,00*	1115,32*
Bloco	4	15,00 ^{ns}	6,09 ^{ns}	24,18 ^{ns}	548,48 ^{ns}	819,19 ^{ns}
Erro	20	27,87	15,07	9,37	194,91	289,06
CV (%)		103,74	84,73	47,94	47,78	25,95

FV	GL	Quadrado médio				
		PT	PP	PV	REND	REN
Cultivares	5	426,35 ^{ns}	269,79 ^{ns}	83,07*	16472,13**	60,84**
Bloco	4	1026,07 ^{ns}	843,20 ^{ns}	59,44 ^{ns}	3139,82 ^{ns}	5,59 ^{ns}
Erro	20	1258,84	679,06	21,47	1366,52	3,78
CV (%)		25,71	20,82	27,78	9,32	3,99

Ns, ** e *: não significativo e significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Para produtividade total e produtividade da planta não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares, reforçando um excelente ano agrícola para a cafeicultura na região do Alto Paranaíba. As cultivares Bourbon Amarelo IAC J10 e Catuaí Vermelho IAC 99, apresentaram menor quantidade de café de varrição com média de 12,13 scs ha⁻¹, representando 36% de redução em relação às demais cultivares, característica desejável relacionada à qualidade de bebida (Tabela 6).

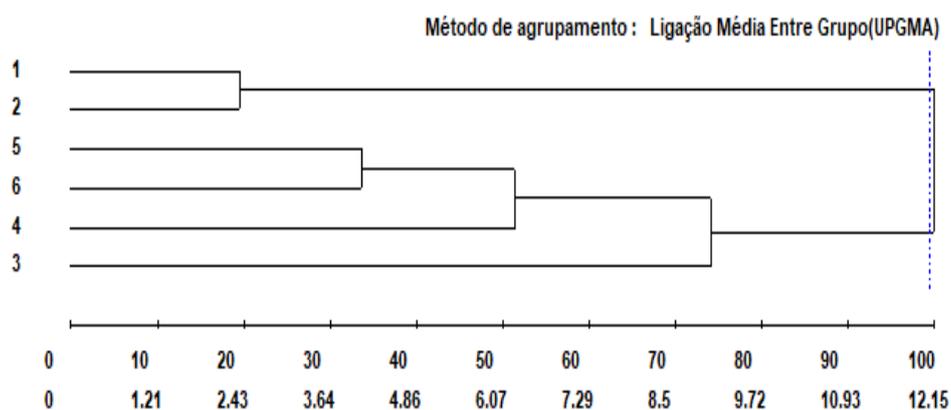
Tabela 6. Produtividade total - PT (sacas ha⁻¹), rendimento - REND (L saca⁻¹), renda -REN (%), Produtividade da planta – PP (sacas ha⁻¹), produtividade café de varrição – PV (sacas ha⁻¹) e percentual médio de frutos verde, verde-cana, cereja, passa e seco de cultivares de café

Cultivares	PT	REND	REN	PP	PV
Bourbon Amarelo IAC J10	140,59	350,22 a	51,09 a	128,03	12,56 a
Catuaí Vermelho IAC 99	125,48	350,51 a	50,92 a	113,79	11,70 a
Topázio MG 1190	154,64	349,94 a	53,99 a	135,24	19,40 b
Acauã Novo	139,10	408,80 b	44,95 b	121,51	17,59 b
IAC 125 RN	138,26	493,83 c	46,06 b	121,84	16,42 b
Paraíso MG H 419 – 1	153,10	427,30 b	52,43 a	130,68	22,42 b

Cultivares	Verde	Verde-cana	Cereja	Passa	Seco
Bourbon Amarelo IAC J10	0,81 b	0,86 b	2,87 b	41,41 a	54,06 a
Catuaí Vermelho IAC 99	1,63 b	2,69 b	6,80 b	32,17 a	56,73 a
Topázio MG-1190	1,85 b	3,56 b	4,93 b	12,05 b	77,61 a
Acauã Novo	3,47 b	4,90 b	5,10 b	29,35 a	56,95 a
IAC 125 RN	13,88 a	10,68 a	6,04 b	17,38 b	52,02 a
Paraíso MG H 419-1	8,90 a	4,82 b	12,59 a	42,95 a	30,74 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Considerando todas as variáveis referentes à produtividade, destaca-se a semelhança entre Bourbon Amarelo e Catuaí Vermelho e diferença entre as demais cultivares, formando outro grupo formado por IAC 125 RN, Paraíso MG H 419-1, Acauã Novo e Topázio MG 1190 (Figura 11) em um corte significativo sugerido pelo software Genes, apresentando uma contribuição relativa dos caracteres para divergência de 46,8% para relação coco beneficiado e 28,7% para café de varrição.



1: Bourbon Amarelo IAC J 10; 2: Catuaí Vermelho IAC 99; 3: Topázio MG 1190; 4: Acauã Novo; 5: IAC 125 RN; 6: Paraíso MG 419-1.

Figura 11. Dendrograma sobre variáveis relacionadas à produtividade (rendimento, renda, produtividade total, produtividade de varrição e produtividade café colhido na planta) em função de cultivares de café arábica.

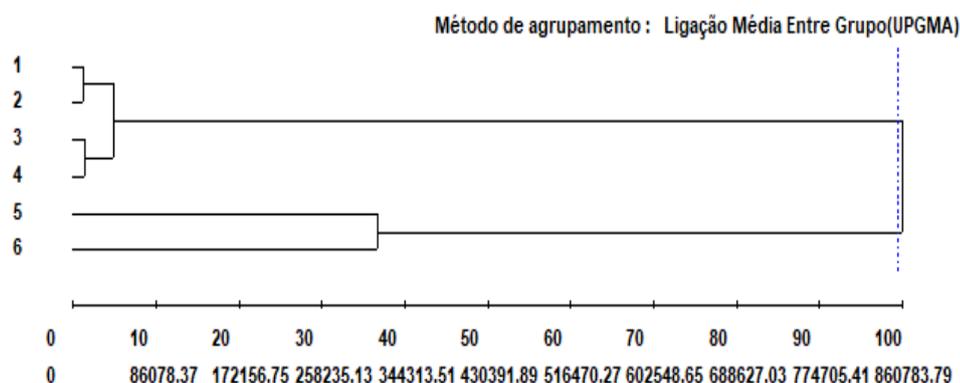
O rendimento médio obtido foi de 472 litros de café colhido na planta e 375 litros de café de varrição para compor uma saca de 60 kg do produto beneficiado. A renda média foi de 50,20% para o café colhido na planta e 50,84% para o café de varrição (Tabela 6). Desta forma, por se tratar de uma safra com bienalidade positiva, aliado ao adequado manejo do experimento, as cultivares expressaram alto potencial produtivo na Região do Cerrado Mineiro. As cultivares Topázio MG 1190, Catuaí Vermelho IAC 99 e Bourbon Amarelo IAC J10 apresentaram o melhor rendimento comparado as demais cultivares, média de 350,22 litros de café colhidos na planta para compor uma saca de 60 kg do produto beneficiado, uma redução de 21% em relação aos demais tratamentos.

Cada material genético exibe suas próprias características distintas, e a eficiência produtiva é significativamente influenciada pelo ambiente de cultivo e pelas práticas de manejo aplicadas na agricultura. Os resultados obtidos neste estudo apresentam uma diferença marcante em relação aos resultados observados por Botelho *et al.* (2010), os quais indicaram, em uma análise detalhada dos municípios de Três Pontas, Campos Altos e Capelinha, Minas Gerais,

uma baixa produtividade das cultivares Topázio MG-1190. Carvalho *et al.* (2010) observaram, em Patrocínio, menor desempenho para a cultivar Paraíso MG H 419-1, não sendo observado este comportamento neste experimento.

Em relação à uniformidade de maturação, as cultivares IAC 125 RN e Paraíso MG H 419-1 apresentaram maior porcentagem de frutos verdes (média de 11,39%) em relação aos demais tratamentos, o que influenciou principalmente no rendimento da cultivar IAC 125 RN, sendo necessário em média 116,48 litros adicionais de café da roça para compor uma saca de café beneficiado comparado aos demais tratamentos. Nesse sentido, as cultivares IAC 125 RN e Acauã Novo, apresentaram menores porcentagens de renda, com redução de 6,6 % em média comparada às demais cultivares. Para frutos cereja, a cultivar Paraíso foi superior aos demais tratamentos, com aumento de 7,44% na média. As cultivares Bourbon Amarelo IAC J10, Catuaí Vermelho IAC 99, Acauã Novo e Paraíso MG H 419-1 apresentaram maiores porcentagens de frutos passas, um acréscimo de 7,04% em relação às demais cultivares. Para frutos secos não houve diferença significativa, com média de 59,7% (Tabela 6).

Além das comparações de desempenho agrônômico (Tabela 6), ao separar as cultivares em grupos distintos com base em medidas de dissimilaridade genética (com base na distância generalizada de *Mahalanobis*) observa-se com o corte significativo sugerido pelo software Genes, a formação de dois grupos distintos para as características de uniformidade de maturação, apresentando uma contribuição relativa dos caracteres para divergência de 92,0% para frutos secos e 8% de frutos passas (Figura 12).



1: Bourbon Amarelo IAC J 10; 2: Catuaí Vermelho IAC 99; 3: Topázio MG 1190; 4: Acauã Novo; 5: IAC 125 RN; 6: Paraíso MG 419-1.

Figura 12. Dendrograma sobre uniformidade de maturação em função de cultivares de café arábica.

Verificou-se efeito significativo dos tratamentos para porcentagem de café chato graúdo, chato médio, moca médio e moca miúdo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F (Tabela 7). Para as demais variáveis não foram detectadas diferenças entre as cultivares.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para porcentagem de café chato graúdo, chato médio, chato miúdo, moca graúdo, moca médio, moca miúdo de cultivares de café arábica

FV	GL	Quadrado médio		
		Chato Graúdo	Chato Médio	Chato Miúdo
Cultivares	7	505,84**	175,43**	10,04 ^{ns}
Bloco	4	31,84 ^{ns}	28,15 ^{ns}	5,61 ^{ns}
Erro	28	82,914	34,17	4,12
CV (%)		27,16	15,68	37,34
FV	GL	Moca Graúdo	Moca Médio	Moca Miúdo
Cultivares	7	93,23 ^{ns}	25,72**	6,60**
Bloco	4	128,74 ^{ns}	8,25*	2,94 ^{ns}
Erro	28	106,34	2,09	1,29
CV (%)		88,59	17,94	24,12

Ns, ** e *: não significativo e significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

As cultivares IAC 125 RN, Catuaí Vermelho IAC 99 e Bourbon Amarelo IAC J10 se destacaram no tamanho de grãos, apresentando maior porcentagem destes grãos retidos nas peneiras 17, 18 e 19 (41,58% em média), seguidos dos demais tratamentos (Tabela 8). Já as cultivares Topázio MG-1190, Acauã Novo e Paraíso MG H 419-1 apresentaram menores percentuais de grãos chato graúdo (média de 29,9%), valor este 1,38 vezes inferior em relação à média do melhor grupo de cultivares (Tabela 8 e Figura 13), o que demonstra que esses genótipos, apesar de bastante produtivos e possuírem alta renda, produzem frutos de menor peneira, o que pode impactar significativamente na comercialização deste café (Tabela 8).

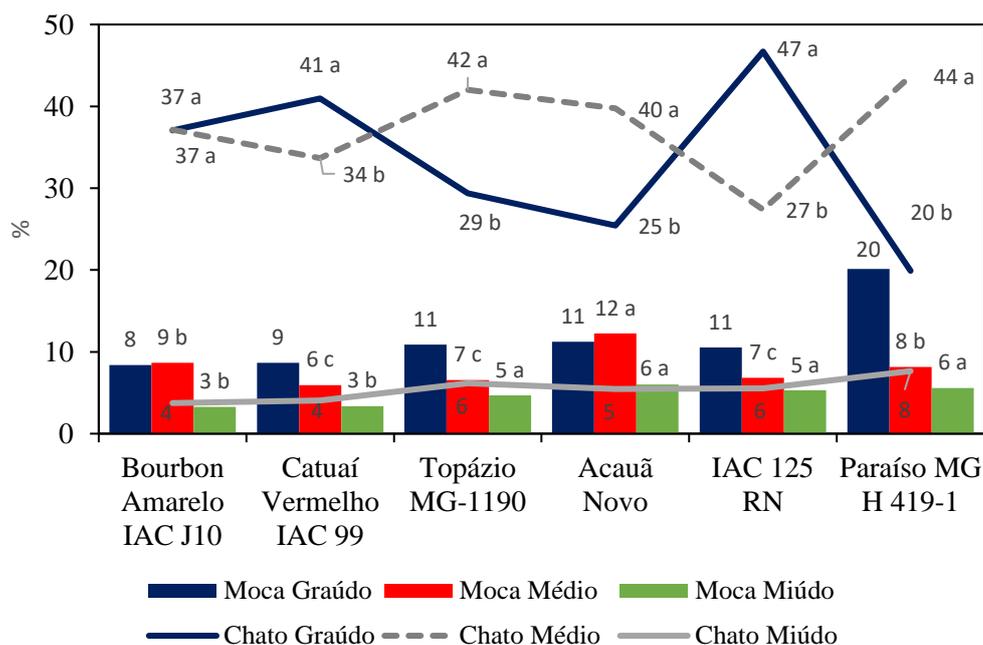


Figura 13. Demonstração gráfica do comportamento de peneira para cultivares de café

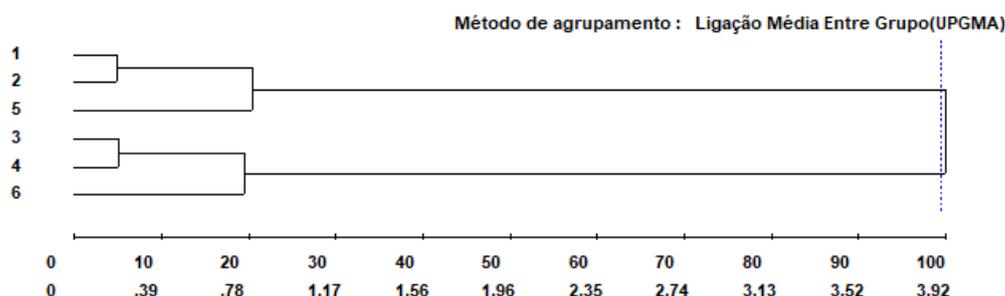
Tabela 8. Porcentagem de grãos retidos nas peneiras de formatos circulares e oblongos de cultivares de café arábica

Cultivares	Chato Graúdo	Chato Médio	Chato Miúdo
Bourbon Amarelo IAC J10	37,07 a	37,16 a	3,74 a
Catuaí Vermelho IAC 99	40,97 a	33,67 b	4,07 a
Topázio MG-1190	29,37 b	42,03 a	6,16 a
Acauã Novo	25,44 b	39,75 a	5,47 a
IAC 125 RN	46,70 a	27,38 b	5,52 a
Paraíso MG H 419-1	19,90 b	43,69 a	7,65 a
Cultivares	Moca Graúdo	Moca Médio	Moca Miúdo
Bourbon Amarelo IAC J10	8,37 a	8,65 b	3,29 b
Catuaí Vermelho IAC 99	8,67 a	5,94 c	3,36 b
Topázio MG-1190	10,88 a	6,56 c	4,69 a
Acauã Novo	11,25 a	12,26 a	5,99 a
IAC 125 RN	10,55 a	6,81 c	5,30 a
Paraíso MG H 419-1	20,12 a	8,15 b	5,59 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Atualmente existe uma série de programas que valorizam a qualidade sensorial de bebida (Tabela 9), e qualidade física, ou seja, o tamanho dos grãos do café. O Programa Nespresso AAA de Qualidade Sustentável™, por exemplo, bonifica os produtores inscritos que seguem os valores de sustentabilidade e segurança ambiental. Os cafés que possuem 41% de peneira 17 acima, ou seja, chato graúdo (Tabela 8) recebem um valor agregado de 11,0 dólares por saca de café para não certificados e 15,1 dólares para produtores que possuem fazenda certificada. Os cafés que apresentam peneira entre 35 a 40 % de chato graúdo, recebem um acréscimo de 9,5 dólares por saca para produtores não certificados e 12 dólares para produtores que possuem fazenda certificada. Nesse sentido, a cultivar IAC 125 RN, em um lote hipotético de 100 sacas de café beneficiado, considerando o valor do dólar a 4,94 reais, proporciona uma bonificação mínima de R\$ 54,34 por saca, totalizando um retorno de R\$ 5.434,00 a cada lote de 100 sacas comercializadas comparado às cultivares Topázio MG-1190 e Paraíso MG 419-1, ou seja, um acréscimo de 5,43% no valor de comercialização. Para produtores que possuem certificação, o acréscimo por saca de café comercializado seria de R\$ 74,1, totalizando, em um lote de 100 sacas de café, R\$ 7.410,00, ou seja, 7,41% de bonificação comparado às cultivares Topázio MG-1190 e Paraíso MG 419-1.

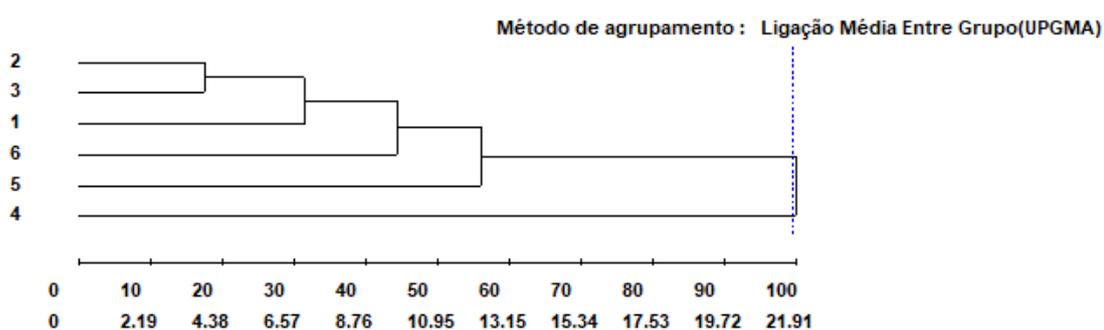
Portanto, as cultivares IAC 125 RN, Catuaí Vermelho IAC 99 e Bourbon Amarelo IAC J10 formam o grupo significativamente superior às demais cultivares relacionado à chato graúdo como demonstrado no dendrograma (Figura 14).



1 Bourbon Amarelo IAC J 10; 2: Catuaí Vermelho IAC 99; 3: Topázio MG 1190; 4: Acauã Novo; 5: IAC 125 RN; 6: Paraíso MG 419-1.

Figura 14. Dendrograma sobre percentual de café chato graúdo em função de cultivares de café arábica.

Porém, considerando todas as variáveis de classificação em peneira, o Acauã Novo difere das demais cultivares em um corte a 19,5 como demonstrado na Figura 15, apresentando uma contribuição relativa dos caracteres para divergência de 13,7% para chato graúdo, 10,6% para chato médio, 12,6 para chato miúdo, 7,8% para moca graúdo, 46,7% para moca médio e 8,5% para moca miúdo (Figura 15).



1 Bourbon Amarelo IAC J 10; 2: Catuaí Vermelho IAC 99; 3: Topázio MG 1190; 4: Acauã Novo; 5: IAC 125 RN; 6: Paraíso MG 419-1.

Figura 15. Dendrograma sobre peneira em função de cultivares de café arábica.

Apesar da grande diferença entre cultivares relacionada à qualidade de bebida relatada na literatura, neste experimento, devido o início da colheita ter respeitado um percentual

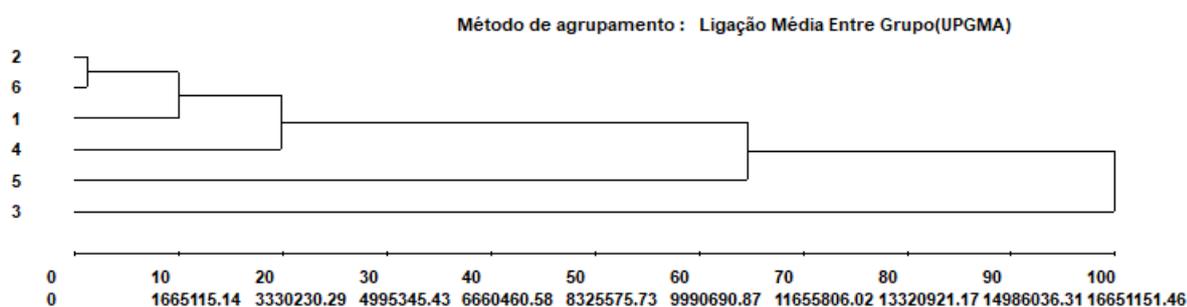
máximo de frutos verdes e as condições meteorológicas serem favoráveis para não ocorrência de fermentação, todas as cultivares apresentaram pontuação sensorial acima de 80 pontos, sendo considerados cafés especiais (Tabela 9).

Tabela 9. Pontuação média de qualidade de bebida de cultivares de café arábica

Cultivares	Pontuação	Classificação
Bourbon Amarelo IAC J10	81,25	<i>Premium</i>
Catuaí Vermelho IAC 99	80,25	<i>Premium</i>
Topázio MG-1190	81,25	<i>Premium</i>
Acauã Novo	81,00	<i>Premium</i>
IAC 125 RN	81,25	<i>Premium</i>
Paraíso MG H 419-1	84,00	<i>Premium</i>

5.3 Biometria

Considerando todos os parâmetros avaliados de crescimento, têm-se diferentes grupos formados como Catuaí IAC 99, Paraíso MG 419-1, Bourbon Amarelo IAC J10 e Acauã Novo, sendo contrastantes ao IAC 125 RN e Topázio MG 1190, apresentando uma contribuição relativa dos caracteres para divergência de 56,1% para comprimento de ramo plagiotrópico e 19,1% para nós totais (Figura 16).



1 Bourbon Amarelo IAC J 10; 2: Catuaí Vermelho IAC 99; 3: Topázio MG 1190; 4: Acauã Novo; 5: IAC 125 RN; 6: Paraíso MG 419-1.

Figura 16. Dendrograma sobre biometria de cultivares de café arábica.

Pela análise de *Deviance* (Tabela 10) verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para número de nós face norte, número de nós totais face sul, comprimento de ramo plagiotrópico face norte, comprimento de ramo plagiotrópico face sul e número de nós produtivos face sul a 1% de probabilidade pelo Teste F e para número de nós produtivos face

norte a 5% de probabilidade pelo Teste F. Para número de ramos plagiotrópicos, não houve diferença significativa pelo Teste F a 5 % de probabilidade.

Tabela 10. Análise de *Deviance* para nós totais face norte, nós totais face sul, comprimento de ramo face norte, comprimento de ramo face sul, nós produtivos face norte, nós produtivos face sul e número de ramos de cafeeiros em função de cultivares de café arábica

FV	GL	Nós totais face norte		Nós totais face sul	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Cultivar	5	15,30	0,0091**	19,03	0,0019**
Data	2	9,16	0,0103*	11,93	0,0025**
Bloco	3	50,79	<0,001	4,21	0,2397
Tratamento X Data	10	11,33	0,3322 ^{ns}	4,37	0,9293 ^{ns}

FV	GL	Comprimento de ramo face norte		Comprimento de ramo face sul	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Cultivar	5	23,42	0,0003**	18,21	0,0027**
Data	2	5,82	0,0456**	4,87	0,0377*
Bloco	3	17,84	0,0005	4,95	0,1755
Tratamento X Data	10	2,94	0,9828 ^{ns}	7,54	0,6733 ^{ns}

FV	GL	Nós Produtivos face norte		Nós Produtivos face sul	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Cultivar	5	12,05	0,0341*	25,43	0,0001**
Data	2	0,05	0,8147 ^{ns}	0,26	0,6110 ^{ns}
Bloco	3	2,46	0,4828	20,45	0,0001
Tratamento X Data	10	0,69	0,9837 ^{ns}	3,21	0,6677 ^{ns}

FV	GL	Número de Ramos	
		<i>Deviance</i>	<i>Valor-p</i>
Cultivar	5	9,18	0,1019 ^{ns}
Data	2	0,72	0,3959 ^{ns}
Bloco	3	26,15	<0,0001**
Tratamento X Data	10	0,31	0,9975 ^{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.

A cultivar Topázio MG 1190, destaca-se em número de nós totais face norte com acréscimo de 45%, comparado com as demais cultivares. Para número de nós totais face sul, comprimento de ramo plagiotrópico face sul, comprimento de ramo plagiotrópico face norte e número de nós produtivos face norte, as cultivares Topázio MG 1190 e Bourbon Amarelo IAC J10 se destacaram em relação a cultivar IAC 125 RN. Porém, como observado, a cultivar Topázio MG 1190 apresenta uma melhor arquitetura de planta, pois, está sempre dentro do maior intervalo de médias para todas as características biométricas avaliadas, resultando em

maior potencial produtivo a ser alcançado. Porém, devido ao bom ano agrícola, não verificado cientificamente, correlação com os resultados de produtividade (Tabela 11).

Tabela 11. Número de nós totais face norte - NTN, número de nós totais face sul - NTS, comprimento de ramo plagiotrópico face sul - CRS, comprimento de ramo plagiotrópico face norte - CRN, número de nós produtivos face norte - NPN, número de nós produtivos face sul - NPS de cafeeiros em função de cultivares.

Cultivares	NTN	NTS	CRS
Bourbon Amarelo IAC J10	17,5 b	20,7 ab	68,7 a
Catuaí Vermelho IAC 99	19,9 b	19,1 bc	50,6 bc
Topázio MG-1190	26,1 a	23,7 a	64,3 a
Acauã Novo	17,9 b	19,1 bc	48,6 bc
IAC 125 RN	16,3 b	16,3 c	41,8 c
Paraíso MG H 419-1	18,0 b	19,0 bc	53,3 b
Cultivares	CRN	NPN	NPS
Bourbon Amarelo IAC J10	60,9 ab	11,77 a	9,30 bc
Catuaí Vermelho IAC 99	53,4 bc	9,71 b	7,84 c
Topázio MG-1190	71,9 a	11,81 a	11,94 a
Acauã Novo	42,9 cd	9,31 b	10,74 a
IAC 125 RN	41,2 d	8,75 b	10,42 bc
Paraíso MG H 419-1	55,4 b	9,09 b	10,10 bc
Cultivares	NR		
Bourbon Amarelo IAC J10	95,1		
Catuaí Vermelho IAC 99	97,9		
Topázio MG-1190	97,9		
Acauã Novo	101,2		
IAC 125 RN	100,0		
Paraíso MG H 419-1	97,9		

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

É de importância a condução de experimentos desta natureza por vários anos e em diferentes locais, pois o cafeeiro é uma cultura perene e que apresenta alternâncias de produtividade entre uma safra e outra, visando assim verificar o comportamento das cultivares em anos com condições meteorológicas adversas.

6 CONCLUSÕES

As cultivares Topázio MG 1190, Acauã Novo, IAC 125 RN e Paraíso MG H 419-1 apresentaram maiores produtividades de café de varrição.

As cultivares IAC 125 RN, Bourbon Amarelo IAC J10 e Catuaí Vermelho IAC 99 apresentaram maior percentual de grãos chatos graúdos.

Todas as cultivares apresentaram pontuação de bebida acima de 80 pontos enquadrando-se na categoria *premium*.

A cultivar Acauã Novo apresentou a menor massa seca de raiz. As cultivares Bourbon Amarelo IAC J10, IAC 125 RN, Paraíso MG 419-1 e Topázio MG 1190 apresentaram diâmetro radicular superior aos demais tratamentos. Houve maior quantidade e distribuição de raízes nas camadas superficiais e próximas ao tubo gotejador.

REFERÊNCIAS

ALVES, E A. **Variabilidade especial e temporal da qualidade do café cereja produzido na Região das Serras de Minas**. 2009. 135 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 31-48.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.

BOTELHO, C. E. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1404-1411, 2010.

BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

CAIXETA, L. G. *et al.* Mulching de polietileno e fontes de adubo em cafeeiros: efeitos no teor de clorofila, produtividade e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e290111435993-e290111435993, 2022.

CARDOSO, I. M. *et al.* Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 58, p. 33- 43, 2003.

CARVALHO, A. M. X., MENDES, F. Q. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. **Anais da Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. Lavras, MG, Brasil, 2017, 333p.

CARVALHO, C. H. *et al.* **Catálogo de cultivares de café arábica**. Embrapa Café. Brasília, DF 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1145722/catalogo-de-cultivares-de-cafe-arabica>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CARVALHO, C. H. S. *et al.* Cultivares de Café Arábica de Porte Baixo. In: CARVALHO, C.H.S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa, 2008, p. 157-224.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2023, quarto levantamento**. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

COVRE, A. M. *et al.* Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 50, n. 11, p. 1006-1016. 2015.

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Diversidade Genética**. 1ª ed. Viçosa: UFV, 2008, 278p.

DARDENGO, M. C. J. D. *et al.* Repercussions of the level of shading and the type of container in the seedling stage on the growth of irrigated and non-irrigated coffee plants in the field. **Journal of Experimental Agriculture International**, Warsaw, v. 27, n. 4, p. 1-13, 2018

DAYAN, F. E.; WATSON, S. B.; NANAYAKKARA, N. P. D. Biosynthesis of lipid resorcinols and benzoquinones in isolated secretory plant root hairs. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 12, p. 3263-3272, 2007.

FAZUOLI, L. C. *et al.* IAC 125 RN - A dwarf coffee cultivar resistant to leaf rust and root-knot nematode. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 237-240, 2018.

FERNANDES, M. I. S. *et al.* 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.

FIALHO, C. M. T. *et al.* Competição de plantas daninhas com a cultura do café em duas épocas de infestação. **Planta Daninha**. v. 28. 2010.

GÓMEZ-GONZÁLEZ, R. *et al.* 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. *et al.* In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DOSOLO 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.

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).

- KANASE, T.; GUHEY, A.; GAWAS, D. Activity of antioxidant enzymes in soybean genotypes under drought stress. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2323-2330, 2019.
- MATIELLO, J. B. *et al.* Variedades de Café. **Cultura de Café no Brasil: Manual de Recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2020. p. 63-98.
- MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. Desenvolvimento de Novas Cultivares de Café Arábica In: CARVALHO, C.H.S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília, Embrapa, 2008, p.79-100.
- MOLIN, N. D. R. *et al.* Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuitas, Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 3, ago. 2010.
- NAGAI, D. K. SANTINI PIGATTO, G. A.; LOURENZANI, A. E. B. S. Formas de inovação na agricultura: O caso da denominação de origem protegida na produção de café de Cerrado Mineiro. **Revista Espacios**, v. 37, n. 9, jan. 2016.
- PADOVAN, M. P. *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.
- PEREIRA, S. P. *et al.* Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.2, p. 152-160, fev. 2011.
- PIEKARSKA-STACHOWIAK A.; NAKIELSKI, J. The simulation model of growth and cell divisions for the root apex with an apical cell in application to *Azolla pinnata*. **Planta**, v. 238, n. 6, p. 1051-1064, 2013.
- QUINTO, M. H. *et al.* 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.
- REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES – RCN. **Cultivar Web**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.
- RONCHI, C. P. *et al.* 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.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed, Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.
- SCHALLER J., G. *et al.* Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. **Forest Ecology and Management** v. 175, p. 205-215, 2003.
- SHARP, R. E. *et al.* Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2343-2351, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. EMBRAPA, Brasília, 2004. p. 339-341.

SOUZA, J. M. *et al.* Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 1, p. 93- 103, 2018.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA- SCAA. PROTOCOLO PARA ANÁLISE SENSORIAL DE CAFÉ Metodologia SCAA. 2008. Disponível em<http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf>. Acesso em: 07 de abril de 2024.

VAN KATEN, R. *et al.* Fine-root dynamics of coffee in association with two shade trees in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, 63: 247- 261, 2005.

VICENTE, M. R. *et al.* Efeito da irrigação no desenvolvimento radicular do cafeeiro. **Irriga**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 378–391, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n2p378-391.

VICENTE, M. R. *et al.* Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 1, p. 72-80, 2017.

XIONG, R. *et al.* Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 405–418, 1 jun. 2021.

ZONTA, E; BRASIL, F. C; ROCHA, J. F; SANTOS, L. A; FERREIRA, L. M; TAVARES, O. C. H; PIMENTEL, R. R; ROSSIELLO, R. O. P; GOI, S. R. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: **Nutrição mineral de plantas**. 2ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018, p. 74-79.