



LUCIANE GONÇALVES TORRES

**SUBSTRATOS ALTERNATIVOS E FERTILIZANTE DE
LIBERAÇÃO CONTROLADA NA PRODUÇÃO DE MUDAS
CLONAIS DE *Coffea arabica* L.**

**LAVRAS – MG
2021**

LUCIANE GONÇALVES TORRES

**SUBSTRATOS ALTERNATIVOS E FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE *Coffea arabica* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Orientadora

Dr. Samuel Pereira de Carvalho
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Torres, Luciane Gonçalves.

Substratos alternativos e fertilizantes de liberação controlada na
produção de mudas clonais de *Coffea arabica* L. / Luciane
Gonçalves Torres. - 2021.

53 p. : il.

Orientador(a): Dalysse Toledo Castanheira.

Coorientador(a): Samuel Pereira de Carvalho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Propagação vegetativa. 2. Fornecimento de nutrientes. 3.
Melhoramento de plantas. I. Castanheira, Dalysse Toledo. II.
Carvalho, Samuel Pereira de. III. Título.

LUCIANE GONÇALVES TORRES

**SUBSTRATOS ALTERNATIVOS E FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE *Coffea arabica* L.**

**ALTERNATIVE SUBSTRATES AND CONTROLLED RELEASE FERTILIZER FOR
PRODUCTION OF CLONAL SEEDLINGS OF *Coffea arabica* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em de 28 de julho de 2021.

Dra. Danielle Pereira Baliza IF Sudeste MG

Dr. Virgílio Anastácio da Silva UFLA

Dr. Samuel Pereira de Carvalho UFLA

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Orientadora

**LAVRAS – MG
2021**

A meu pai, eternamente em meu coração.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em cada passo dado e pela permissão que Ele me deu para realizar meus sonhos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Hercília e Oliveira, por todo o suporte e amor. Em especial ao meu pai, por ter sido o maior apoiador deste sonho até seu último dia aqui comigo.

Ao meu irmão Júnior, pelo incentivo e confiança.

Às minhas amigas da República Santuário, por ressignificarem a palavra lar, e pela força diária.

Aos meus colegas de pós, Cássio, Daiane, Harianne e Samuel, por toda a ajuda desde o planejamento do experimento.

Aos colegas Eric, João Paulo e Crislene, por todo o apoio.

Ao meu amigo Jean, pelo companheirismo desde o primeiro dia de mestrado.

Às minhas amigas Vanessa e Rayanne, pela amizade sólida e incentivo sempre.

Aos amigos de Sete Lagoas, por estarem sempre presentes e por fazerem essa caminhada ser mais leve. Em especial, ao Grupo de Estudos em Cafeicultura (GECAF), da UFSJ.

Ao Grupo de Estudos em Melhoramento e Clonagem (NEMEC), da UFLA.

A toda a minha família. Meus compadres, por se alegrarem com minhas conquistas, meus afilhados, pelo amor e por serem fonte de forças nos dias difíceis, e minhas tias Conceição e Maria, por todo o carinho e orações.

Ao professor Samuel, que me orientou no início dessa caminhada e à professora Dalysse, pela orientação na reta final. Gratidão por todo o ensinamento, paciência e compreensão.

A todos os professores pelo ensino e dedicação. Vocês são meu maior exemplo e minha maior inspiração desde sempre!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

RESUMO

O uso da propagação vegetativa por estaquia para produção de mudas de *Coffea arabica* L. é uma alternativa para produção de mudas em escala comercial, assim como para os programas de melhoramento para o uso de híbridos F₁, garantindo a manutenção do ganho genético obtido na seleção, reduzindo assim, o número de ciclos de seleção para obtenção de linhagens. A fim de otimizar o processo de obtenção de mudas clonais o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de diferentes substratos associados ao fornecimento de nutrientes por meio de fertilizante de liberação controlada, no desenvolvimento de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia caulinar. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com três repetições, sete estacas por parcela e 15 tratamentos em esquema fatorial 5 x 3, composto por cinco misturas de substratos, sendo: substrato comercial (SC) (100%) e; proporções 1:1 de casca de café carbonizada + SC, casca de arroz carbonizada + SC, casca de café curtida + SC, areia+vermiculita + SC) e três doses de fertilizante de liberação controlada Osmocote Plus[®] (7,5, 12,5 e 17,5 g L⁻¹). Foram selecionadas plantas adultas da cultivar Mundo Novo, de lavoura recepada, e retiradas estacas caulinares com cinco centímetros de comprimento cada. Após 150 dias da instalação do experimento foram avaliados caracteres morfológicos relacionados ao desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ao teste de médias de Tukey. Não houve interação entre o substrato e a dose de fertilizante de liberação controlada utilizados para nenhuma variável em estudo, sendo então, estudados os fatores separadamente e observado o comportamento das variáveis respostas dentro de cada nível do fator. A substituição parcial do substrato comercial utilizado para produção de mudas por materiais alternativos, como casca de café curtida/carbonizada, areia+vermiculita ou casca de arroz carbonizada é uma alternativa viável para produção de mudas de café arábica por meio de estaquia, para melhor promoção de caracteres relacionados ao sistema radicular. Fertilizante de liberação controlada interfere no desenvolvimento de caracteres relacionados ao desenvolvimento da parte aérea das mudas.

Palavras-chaves: Propagação vegetativa. Fornecimento de nutrientes. Melhoramento de plantas.

ABSTRACT

The use of vegetative propagation by cuttings for the production of *Coffea arabica* L. seedlings is an alternative for the production of seedlings on a commercial scale, as well as for breeding programs for the use of F1 hybrids, ensuring the maintenance of standard genetic gain in selection. Thus, the number of selection cycles to obtain inbred lines. In order to optimize the process of obtaining clonal seedlings, the objective of this work was to evaluate the feasibility of using different substrates associated with the nutrient by means of controlled release fertilizer in the development of *Coffea arabica* L. disconnect seedlings by stem cutting. The experiment was installed in a randomized block design with three replications, seven cuttings per plot and 15 treatments in a 5 x 3 factorial scheme, consisting of five mixtures of substrates, as follows: commercial substrate (SC) (100%); and 1:1 proportions of carbonized coffee husk + SC, carbonized rice husk + SC, tanned coffee husk + SC, sand + vermiculite + SC) and three doses of Osmocote Plus® controlled-release fertilizer (7.5, 12, 5 and 17.5 g L⁻¹). Adult plants of the cultivar Mundo Novo were selected from received crops and stem cuttings with five lengths each were removed. After 150 days of installation of the experiment, morphological characters related to the development of the aerial part and root system were obtained. The results were uncovered by an analysis of variance and, when tested, by testing Tukey's means. There was no interaction between the substrate and a dose of controlled-release fertilizer used for any variable under study, so the indicators were studied and the behavior of the variables within each factor level was observed. The partial replacement of the commercial substrate used for the production of seedlings by alternative materials, such as tanned/carbonized coffee husk, sand+vermiculite or carbonized rice husk is a viable alternative for the production of Arabica coffee seedlings through cuttings for better promotion of characters related to the root system. Controlled release fertilizers interfere with the development of characters related to the development of the shoots.

Keywords: Vegetative propagation. Nutrient supply. Plant breeding.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Matriz de correlação de Pearson para mudas de café produzidas com o uso de diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação controlada. 39
- Figura 2 - Análise de componentes principais das variáveis relacionadas ao desenvolvimento das mudas de *Coffea arabica* L. produzidas utilizando substrato comercial (A), casca de café carbonizada (B), casca de arroz carbonizada (C), casca de café curtida (D) e areia + vermiculita (E) em função das diferentes doses de fertilizante..... 42
- Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) das variáveis relacionadas ao desenvolvimento das mudas de *Coffea arabica* L. produzidas utilizando 7,5 g.L-1(A), 12,5 g.L-1 (B) E 17,5 g.L-1 (C) em diferentes composições de substratos. 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos.....	28
Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas em função das doses de fertilizante e substratos utilizados.	31
Tabela 3 - Médias para número de brotos (NB) em função das doses de fertilizante.	32
Tabela 4 - Médias para variável volume (Vol) em função dos substratos utilizados.....	33
Tabela 5 - Médias para variável área das raízes (Área) em função dos substratos utilizados.. ..	34
Tabela 6 - Médias para variável diâmetro médio das raízes (DiamR) em função do substratos	35
Tabela 7 - Médias para variável massa seca das folhas (MSF) em função dos substratos...36	
Tabela 8 - Médias para variável relação parte aérea x raiz (PAR) em função dos substratos.. ..	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Origem e características gerais da espécie <i>Coffea arabica</i> L.....	13
2.2	Produção e importância socioeconômica do café	14
2.3	Propagação do cafeeiro	15
2.4	Substratos para produção de mudas	18
2.4.1	Substrato comercial.....	20
2.4.2	Casca de café carbonizada.....	21
2.4.3	Casca de arroz carbonizada	22
2.4.4	Casca de café curtida	23
2.4.5	Areia e vermiculita	24
2.5	Fertilizante de liberação controlada	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Caracterização experimental.....	27
3.2	Avaliações.....	29
3.3	Análise dos dados.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Análise de variância e estudo de médias	31
4.2	Correlação simples de Pearson	38
4.3	Análise de componentes principais	40
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O café é um importante produto agrícola do agronegócio, sendo o Brasil o maior país produtor e exportador do mundo. A atividade cafeeira contribui significativamente para a economia do país, é geradora de renda na maior parte dos sistemas produtivos e se caracteriza majoritariamente como agricultura familiar (SARAIVA *et al.*, 2018). A área de produção cafeeira no Brasil gira em torno de 2,22 milhões de hectares, sendo a *Coffea arabica* L. a principal espécie cultivada, correspondendo a 81% da área total (CONAB, 2021).

A espécie *C. arabica* se caracteriza por apresentar complexidade no sabor e aroma da bebida, sendo composta por plantas autógamas com cleistogamia imperfeita, que demonstram grande uniformidade e pouca variação dos descendentes. Devido às suas características genéticas, para produção de mudas o principal método de propagação é via semente. Nos programas de melhoramento genético dessa espécie, o desenvolvimento de novas cultivares é feito por seleção de linhas puras com testes de progênies, e por hibridação. Por este último método, as novas cultivares são obtidas após sucessivos ciclos de autofecundação e seleção dos genótipos que apresentam características superiores. Quando são obtidas as linhagens, ou seja, não há mais segregação dos caracteres, as plantas são avaliadas em diversos locais a fim de verificar a estabilidade e adaptabilidade. Todo esse processo de obtenção de uma nova cultivar pode durar cerca de 30 anos, o que leva ao uso de muitos recursos, como tempo e dinheiro (OLIVEIRA *et al.*, 2021; VALENCIA *et al.*, 2017).

Jesus (2006), afirma que alguns genótipos-elite de cruzamentos de *C. arabica* apresentam características de interesse agrônomo, como a resistência à ferrugem, uma das principais doenças que atinge essa cultura, além de alta produção, qualidade, eficiência nutricional (VILELA *et al.*, 2021), porte baixo, dentre outras. Sendo assim, o uso da propagação vegetativa como forma de clonar as plantas de interesse, têm se mostrado uma alternativa para que se torne possível explorar essas características em menor espaço de tempo (SHIGUEOKA *et al.*, 2011).

Para a espécie *C. canephora* o processo para produção de mudas mais utilizado é por meio do método de propagação vegetativa através do enraizamento de estacas obtidas de ramos ortotrópicos do cafeeiro. Isso ocorre por se tratar de uma espécie alógama, onde o uso de sementes para produção de mudas poderia acarretar em desuniformidade da lavoura devido sua variabilidade genética. Esta técnica se mostra viável também para a espécie *C. arabica* e tem sido estudada para estabelecimento de um protocolo que garanta a qualidade das mudas,

redução do tempo de produção e, conseqüentemente, antecipar o plantio para aproveitar o período chuvoso (SOUZA *et al.*, 2020; BALIZA *et al.*, 2013).

A produção de mudas de qualidade se dá a partir de diversos fatores. O substrato utilizado precisa promover sustentação das plantas e fornecer condições nutricionais adequadas para garantir qualidade quando levadas ao campo (SOUZA *et al.*, 2017), que pode ser obtido de forma comercial ou ser produzido a partir de misturas de materiais, a fim de reaproveitar resíduos disponíveis para reduzir o custo de produção.

Como complementação ao substrato, as mudas precisam de fornecimento de fertilizante que evite a lixiviação dos nutrientes, em especial quando utilizados tubetes que apresentam um menor volume de substrato. Para evitar essa perda durante as irrigações na fase de viveiro, são utilizados fertilizantes de liberação controlada que farão a disponibilização de forma gradual (SANTOS *et al.*, 2020).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de diferentes substratos associado ao fornecimento de nutrientes por meio de fertilizante de liberação controlada, no desenvolvimento de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia caular.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e características gerais da espécie *Coffea arabica* L.

O gênero *Coffea* L. contém as duas espécies mais utilizadas na produção da bebida café: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, que produzem respectivamente os cafés arábica e robusta/conilon. A espécie *C. arabica* é a mais expressiva em plantio e consumo, tanto no Brasil, quanto no mundo (AGNOLETTI *et al.*, 2019).

A espécie *C. arabica* tem sua origem no leste africano, especificamente nas regiões montanhosas da Etiópia. O uso dos frutos para confecção de bebidas à base do café foi realizado inicialmente na África, chegando posteriormente aos árabes, que os utilizavam como estimulante. Através do comércio com os árabes, o café rapidamente chegou à Europa conquistando o mercado e sendo amplamente consumido por milhares de pessoas (OLIVEIRA, 2012).

O café arábica demonstrou um grande potencial no mercado europeu e, com isso, ocorreu a expansão da espécie para diversas outras regiões, chegando assim, ao Novo Mundo. Os colonizadores europeus foram os responsáveis pela chegada do café ao Suriname, São Domingos, Cuba, Porto Rico e Guianas (OLIVEIRA, 2012). Em 1727, o brasileiro Francisco de Melo Palheta, trouxe ao Brasil as primeiras sementes e mudas da variedade Typica, oriundas da Guiana Francesa, chegando pelo norte do país, diretamente em Belém do Pará (GONÇALVES, 2018). Durante muitas décadas esta foi a única variedade cultivada no Brasil, até que em 1859, foi introduzida a variedade Bourbon Vermelho e, em seguida, no ano de 1896, a variedade Sumatra.

Encontram-se em uso hoje mais de 100 (cem) cultivares da espécie *C. arabica* pelo Brasil e que estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Dentre as cultivares difundidas, cada uma apresenta características específicas para as áreas de cultivo, de acordo com os fatores próprios da região, como o clima, precipitação, tipo de solo e altitude. Dentro destas cultivares, duas se destacam como as mais utilizadas pelos cafeicultores: Mundo Novo e Catuaí (GONÇALVES, 2018).

Alguns fatores são primordiais para que a espécie se desenvolva bem, como o clima e a altitude da região onde será feito o cultivo. Para a espécie *C. arabica*, a distribuição se dá principalmente em regiões com temperaturas amenas, entre 18 e 21 °C e maiores altitudes. Além disso, o solo e os manejos adotados contribuem para o bom cultivo da espécie. Estes

fatores estão relacionados com a qualidade da bebida de café, uma vez que uma planta saudável e bem manejada tem mais possibilidades de produzir frutos de melhor qualidade que serão utilizados para produção da bebida (EMATER, 2016).

As plantas da espécie *Coffea arabica* L. são arbustivas, perenes, com flores completas, andróginas e autocompatíveis, além de apresentar o mecanismo da cleistogamia. São consideradas como plantas autógamas, com $2n = 4x = 44$ cromossomos, tendo de 10 a 12% de fecundação cruzada. Devido ao fato de ser autógama, a utilização de mudas produzidas por sementes é altamente viável, uma vez que há garantia na qualidade genética e uniformidade da lavoura (SAKIYAMA *et al.*, 2015).

O lançamento de uma nova cultivar da espécie *Coffea arabica* L. pelos programas convencionais de melhoramento genético pode levar até 30 anos. O desenvolvimento de novas cultivares é feito por seleção de linhas puras com testes de progênies, e por hibridação. No método de hibridação, após o cruzamento, durante todo o programa são realizadas sucessivas avaliações em vários ciclos de autofecundação, a fim de fixar as características de interesse na nova cultivar. Sendo assim, há um gasto elevado de tempo e recursos financeiros quando comparado ao lançamento de culturas anuais, como o milho (OLIVEIRA *et al.*, 2021; VALENCIA *et al.*, 2017).

2.2 Produção e importância socioeconômica do café

O Brasil é o maior produtor e exportador de café arábica do mundo, e a cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do país, sendo responsável por geração de impostos e desenvolvimento socioeconômico, além de ser fonte de renda para muitas famílias. Como uma das principais *commodities*, o café apresenta um considerável valor agregado, ficando atrás apenas do petróleo (VILELA, 2020).

A atual área cultivada de café no Brasil é de 2,22 milhões de hectares, com um aumento de 2,6% em relação à área da safra de 2020 (CONAB, 2021). A área plantada de café arábica foi de 1,81 milhões de hectares, representando 81% da área total. O estado de Minas Gerais concentra a maior área com a espécie, 1,30 milhões de hectares, correspondendo a 71,7% da área ocupada com café arábica em âmbito nacional (CONAB, 2021).

Para a safra 2021, estima-se que a produtividade média tenha um decréscimo de 25,4% em relação à safra de 2020, devido a influência da bienalidade negativa. Esta é uma característica do cafeeiro que consiste na alternância natural de entre alta e baixa produção. A produção estimada de café arábica é de aproximadamente 33 milhões de sacas, representando

uma redução de 31,5% em comparação com a safra passada. Já a estimativa de produtividade é de 23 scs/ha (CONAB, 2021).

Em Minas Gerais, a produção esperada para a safra de 2021 é de 23 milhões de sacas (CONAB, 2021). Além da significativa produção de café, o estado de Minas Gerais se destaca na produção de mudas. Nos anos de 1996 a 2000, segundo o DIFV/IMA, foram produzidas 1,64 bilhão de mudas (BALIZA, 2009).

Diversos motivos podem levar às perdas na produção cafeeira, como fatores abióticos de deficiência nutricional, déficit hídrico e temperaturas extremas, que prejudicam o cultivo em algumas regiões. Fatores bióticos como pragas e doenças, também podem afetar a cultura (ZANIN, 2017). Uma alternativa para aumentar a sustentabilidade da atividade, é o uso de cultivares adaptadas e resistentes a estas condições. Para isso, programas de melhoramento genético têm voltado esforços para a clonagem de plantas, ainda em F1, que apresentem esses caracteres (QUESADA *et al.*, 2020).

2.3 Propagação do cafeeiro

A propagação vegetativa de plantas consiste no uso de estruturas vegetativas da planta para produção de novos indivíduos, geralmente idênticos à ‘planta-mãe’. Esta técnica vem sendo cada vez mais utilizada em diversos setores, como a fruticultura, horticultura e silvicultura. Uma das principais vantagens em comparação com a propagação por sementes, é a formação de lavouras e pomares comerciais que apresentam alta produtividade e uniformidade (SOUZA *et al.*, 2020). Além disso, é utilizada para a melhoria e conservação de clones e de cultivares de importância econômica.

Alguns fatores estão relacionados com o nível de sucesso do uso desse tipo de propagação, como a espécie utilizada, as condições fisiológicas da ‘planta-mãe’, as condições climáticas, o tipo de propágulo, o uso de fungicidas e substâncias de crescimento. A propagação vegetativa pode ser realizada através de diferentes métodos, como enxertia, estaquia, mergulhia, embriogênese somática, dentre outros (CARVALHO *et al.*, 2020).

A estaquia consiste no uso de segmentos da ‘planta-mãe’, como ramos, raízes e folhas, para promover o enraizamento e dar origem a uma muda. Denomina-se estacas, qualquer segmento que seja capaz de formar raízes adventícias e originar uma nova planta (DOMINGHETTI *et al.*, 2016). Uma das vantagens do uso deste método é a obtenção de um grande número de plantas em pouco espaço de tempo, e a redução do período juvenil da planta, permitindo que ela entre rapidamente no período de produção.

A propagação vegetativa por meio de estaquia se mostra viável para diversas espécies, como as frutíferas, ornamentais e florestais. É comumente utilizada também para a propagação de cafeeiro da espécie *Coffea canephora* Pierre e a porcentagem de enraizamento das estacas é entre 95% e 100% (JESUS *et al.*, 2013). Para esta espécie, a utilização de clonagem via estaquia, é uma alternativa viável, por se tratar de uma planta alógama, na qual a propagação via semente pode resultar em uma lavoura com desuniformidade devido a variabilidade genética das plantas (PINTO, 2017).

Para produção de mudas de *Coffea arabica* L., a propagação é historicamente realizada por sementes, uma vez que, por ser autógama, apresenta uniformidade, mas com pequena variabilidade entre os descendentes das gerações avançadas (PINTO, 2017). O uso do método de estaquia como produção de clones tem sido bastante utilizado dentro dos programas de melhoramento genético como alternativa de selecionar plantas que apresentam alguma característica de interesse agrônomo ainda nas fases de seleção.

Durante as avaliações de plantas nos programas de melhoramento, alguns genótipos-elite de cruzamentos de híbridos têm apresentado características como porte baixo, uniformidade de maturação dos frutos e resistência a ferrugem, que é uma das principais doenças que atinge a cultura do cafeeiro. A propagação vegetativa de cafeeiros (*C. arabica* L.) que apresentem estas características, obtidos nas primeiras seleções dos programas de melhoramento e também de híbridos F₁, é uma alternativa para reduzir o tempo de obtenção de novas cultivares, que normalmente pode chegar a 30 anos (JESUS *et al.*, 2006). Além disso, a estaquia possibilita a obtenção de um grande número de plantas em menor espaço de tempo, a partir de poucas plantas matrizes. Garante também, a produção de mudas durante todo o ano.

Diversas pesquisas estão relacionadas ao pegamento de mudas provenientes de estacas do cafeeiro. Bergo e Mendes (2000), em busca de contornar a oxidação por fenóis, que é um dos fatores que levam a um menor percentual de pegamento das estacas, conduziram um experimento em casa-de-vegetação utilizando estacas de cafeeiros das cultivares Acaíá e Catuaí Vermelho. Buscaram estabelecer uma metodologia que permitisse o enraizamento das estacas testando a eficiência da água e do antioxidante PVP (polivilpirrolidone) na inativação desses fenóis. Também avaliaram o uso de ácido indol-butírico (AIB) para enraizamento. Foram avaliados o percentual de estacas verdes com raízes, peso da matéria seca das raízes e número de raízes por estacas. Concluíram que, para os tempos de imersão testados, não houve eficiência do PVP e da água na promoção do enraizamento das cultivares e que a utilização da auxina AIB promove um maior enraizamento.

Avaliando o sistema radicular de mudas de *C. arabica* L. produzidas através de estacas e de sementes, Jesus *et al.* (2006), conduziram um experimento com as cultivares Acaí e Rubi. Com estacas previamente enraizadas sem o uso de regulador de crescimento e sementes das mesmas cultivares, as mudas atingiram o padrão de mudas de um ano. Os cientistas determinaram então, o comprimento e o diâmetro das raízes através de imagens digitalizadas das mesmas e, posteriormente, foi obtida a massa seca total. As mudas obtidas através da propagação vegetativa apresentaram maior comprimento total das raízes e maior peso de massa seca que as mudas produzidas por semeadura, mostrando que sistemas radiculares das mudas provenientes das estacas são mais desenvolvidos que sistemas radiculares de cafeeiros obtidos por sementes avaliados neste experimento.

Um fator que interfere no pegamento das mudas produzidas por propagação vegetativa é o comprimento das estacas utilizadas e, sabe-se que o cafeeiro se desenvolve bem em ambiente sombreado. Oliveira *et al.* (2010), realizaram experimento avaliando intervalos de comprimentos de estacas e dois ambientes para produção de mudas: telado de sombrite e casa de vegetação. Foram coletados ramos de plantas de Catuaí Amarelo IAC 62 para produção das mudas e após 90 dias foi realizada a avaliação do crescimento. Foram analisados os seguintes caracteres: altura da parte aérea, número de nós por planta, número de pares de folhas, comprimento da raiz principal e peso da matéria seca da planta. Houve interação significativa entre o ambiente e as variáveis avaliadas, exceto número de nós, e o telado de sombrite proporcionou melhor desenvolvimento das mudas que apresentaram tendência maior de crescimento que em casa de vegetação. A respeito do comprimento de estacas, as que apresentaram maior comprimento possibilitaram maior desenvolvimento das mudas. Estacas com comprimento entre 6, 7 e 8,5 cm proporcionaram maior altura de plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Buscando estabelecer uma metodologia que permita uma clonagem eficiente de *C. arabica* L., Jesus *et al.* (2013), desenvolveram um experimento testando a eficiência do aquecimento basal do leito onde é feito o enraizamento das estacas provenientes da cv. Rubi, e também o fornecimento exógeno de sacarose e de seis concentrações de AIB no enraizamento na formação das mudas. Foram avaliados o número de mudas formadas, número médio de raízes por muda, peso na matéria seca das raízes, peso da matéria seca da parte aérea e a relação peso da matéria seca das raízes/peso da matéria seca da parte aérea. Os autores constataram que a sacarose, em nenhuma das variáveis analisadas, apresentou efeito positivo. E que o aquecimento basal associado com AIB não aumentou a porcentagem de estacas enraizadas, mas aumentou o número de raízes, o peso da matéria seca das raízes e da parte aérea da muda.

Rezende *et al.* (2017) avaliaram o uso da técnica de miniestaquia para produção de mudas de *C. arabica* L. da cultivar Acaiá Cerrado MG-1474, utilizando cinco tipos de miniestacas de distintas porções do ramo ortotrópico, em dois diferentes volumes de tubetes. Após decorridos 120 dias da instalação do experimento, foram avaliadas diversas características vegetativas, como massa seca de raízes, área de raízes, altura da muda, diâmetro do broto, dentre outras. Os pesquisadores concluíram que os volumes de tubetes utilizados no experimento (50 e 120 cm³), não limitaram o sucesso do enraizamento das mudas até os 120 dias. E que o uso de miniestacas de mudas é viável, sendo que aquelas provenientes das porções semiapical, intermediária e semibasal dos ramos ortotrópicos, proveram um melhor crescimento das mudas.

Para indução de enraizamento de estacas de *C. arabica* L. é comum a utilização de hormônios sintéticos, como o AIB. Em busca de uma alternativa para essa indução, Azevedo *et al.* (2019), avaliaram o efeito de extrato de tiririca e diferentes dosagens e tipos de substâncias húmicas nas estacas de café arábica da cultivar Topázio MG-1190. Ao final do experimento foram avaliados dados vegetativos de altura de broto, sobrevivência, folhas remanescentes, pares de folha, vigor e número de brotos. O vigor apresentou resultado significativo para as doses de substâncias húmicas, a porcentagem de sobrevivência mostrou significância dos ácidos na dosagem de 10 mg/dm³, mas como conclusão geral, os autores afirmam que os resultados não foram satisfatórios para a utilização de extrato de tiririca e substâncias húmicas em estacas de café arábica.

2.4 Substratos para produção de mudas

Diversos tipos de substratos são utilizados para produção de mudas de acordo com a espécie e com as diversas condições. É comum a realização de misturas para produção de um substrato que atenda a todas as características desejadas (GERVASIO *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016). Além disso, a busca por alternativas mais economicamente viáveis e por meios de produção mais sustentável, fez com que diferentes combinações de materiais fossem testadas e avaliadas para produção de mudas.

A implantação da lavoura cafeeira envolve uma série de fases que precisam ser executadas da melhor maneira possível, para que se alcance o sucesso de produção, principalmente, por se tratar de uma cultura perene. Dentre essas fases, a produção de mudas é uma etapa decisiva, pois a qualidade das mudas vai influenciar diretamente na qualidade da lavoura (CUNHA, 2021). É preciso produzir mudas de alto padrão de qualidade que se adaptem bem ao local de plantio, se desenvolvam e tenham um baixo custo de produção.

Diversos fatores estão relacionados ao sucesso do estabelecimento das mudas ainda durante a fase de viveiro, sejam elas produzidas por sementes ou estacas. O substrato tem grande importância para sustentação das mudas, garantindo um local firme para o desenvolvimento das raízes, além do suprimento de condições nutricionais, químicas e físicas adequadas para que as mudas desenvolvam saudáveis e adaptadas (AQUINO *et al.*, 2017). O substrato pode ser comercial ou produzido no próprio viveiro a partir de misturas de materiais diversos, para formular um substrato que forneça as condições apropriadas ao crescimento da muda.

Para produção de mudas em saquinhos de polietileno, o substrato mais utilizado é uma mistura de solo de barranco e esterco de bovinos, acrescentando-se adubos químicos (SILVA, 2019). Este substrato padrão apresenta maior semelhança com o solo do campo onde será feito o transplântio das mudas, o que contribui para um melhor pegamento e adaptação das mesmas. Porém, o uso deste substrato para a produção de mudas contribui para a disseminação de sementes de plantas indesejáveis nas lavouras cafeeiras e nematoides. O solo coletado sem controle, pode estar infestado por ovos e juvenis de *Meloidogyne* spp. e, conseqüentemente, provendo a formação de mudas infestadas pelo patógeno (LAMBERT *et al.*, 2020).

Por sua vez, para mudas de café produzidas em tubetes, o substrato comercial comumente utilizado é produzido à base de casca de pinus moída compostada e enriquecida com nutrientes. Porém, esses substratos são caracterizados por uma baixa capacidade de troca catiônica, o que dificulta o fornecimento de nutrientes para a planta, exigindo o uso de fertilizantes de liberação controlada (TOMAZ *et al.*, 2015). Um fertilizante capaz de realizar este trabalho é aquele que apresenta liberação controlada de nutrientes para as plantas, utilizado para evitar que os nutrientes sejam lixiviados durante as irrigações no período em que as mudas permanecem no viveiro (SMIDERLE *et al.*, 2020).

A procura por materiais que possam ser utilizados como substratos para produção das mudas de café tem sido realizada por diversos pesquisadores. Estes materiais podem ser inorgânicos como a areia, ou orgânicos, que muitas vezes podem ser encontrados como descartes em determinados locais. Andrade (2015), avaliou o uso de substratos alternativos para produção de mudas de cafeeiro em sistema orgânico utilizando quatro fontes distintas de nitrogênio, sendo elas, esterco de galinha, esterco bovino, ureia e super ureia. Observando e analisando os valores encontrados para as características de crescimento da muda, altura, diâmetro de mudas e desfolha por cercosporiose, conclui que, o uso da ureia ou da super ureia não pode ser feito em substituição do esterco bovino ou de galinha, uma vez que as fontes orgânicas possibilitaram maior crescimento das mudas e menor severidade da doença.

Diversos estudos envolvendo diferentes composições de substratos e doses de fertilizante de liberação controlada foram realizados para avaliar o desenvolvimento de mudas de café arábica produzidas utilizando sementes, mas o uso de diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação controlada para produção de mudas de café arábica, por estaquia, ainda é muito pouco relatado na literatura. Sendo assim, o atual estudo se mostra importante para o conhecimento desse fator dentro do enraizamento das estacas e aperfeiçoamento da técnica para produção de mudas clonais.

2.4.1 Substrato comercial

Os substratos comerciais podem apresentar diferentes composições, como por exemplo, moinha de carvão vegetal, casca de pinus e turfa; casca de pinus e vermiculita ou; somente a fibra de coco. O substrato comercial Plantmax®, complementado com fertilizante de liberação controlada é utilizado para produção de mudas de café em tubetes (SILVA *et al.*, 2017).

Avaliando diferentes substratos para produção de mudas clonais de café conilon, Aquino *et al.* (2017), compararam o uso de sete diferentes substratos, dentre eles, o comercial, composto por casca de pinus bioestabilizada, vermiculita, moinha de carvão vegetal, água e espuma fenólica, além de combinações do mesmo com produtos orgânicos, como a casca de café e maravalha. Foram estimadas características de crescimento vegetativo como altura da parte aérea, diâmetro do coleto e comprimento do sistema radicular. As mudas produzidas com o uso de substratos contendo maravalha apresentaram os menores valores para as características avaliadas. O substrato comercial, podendo ser acrescido ou não de casca de café, apresentou melhores resultados para produção das mudas nas condições estudadas.

Vallone *et al.* (2009), avaliaram o comportamento de mudas de café arábica produzidas por sementes da cultivar Acaiá Cerrado MG-1474, quando transplantadas em campo, utilizando diferentes recipientes, sendo eles, dois volumes de tubetes e saquinhos de polietileno. Avaliaram também três diferentes substratos: substrato alternativo, composto por 65% de casca de arroz carbonizada e 35% de substrato comercial Plantmax Hortalíça HT®; substrato comercial Plantmax® Hortalíça HT; e substrato padrão, composto por terra, esterco bovino e adubos químicos. Foram avaliadas características de crescimento vegetativo, como altura das plantas, diâmetro da base do caule, número médio de nós nos ramos plagiotrópicos, dentre outras. Os cafeeiros obtidos a partir de mudas em saquinhos de polietileno, e também aquelas produzidas no tubete de maior volume (120 mL), utilizando substrato padrão, apresentaram

desempenho vegetativo superior quando comparadas às mudas produzidas em tubetes de 50 mL, independente do substrato utilizado.

Em outro experimento, Vallone *et al.* (2010), avaliaram o efeito de diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiro. Os substratos utilizados no experimento foram substrato alternativo (contendo 65% de casca de arroz carbonizada e 35% de substrato comercial), substrato comercial Plantmax Hortalças HT® (composto por casca de pinus processada e enriquecida) e substrato padrão (constituído por terra peneirada, esterco bovino e adubos químicos). Foram avaliadas características vegetativas de cinco plantas de cada tratamento, como altura das plantas, número de nós, dentre outras. Os autores afirmam que, as mudas produzidas com o substrato alternativo e com substrato comercial, apresentaram um crescimento mais acelerado que as demais.

Avaliando a formação de mudas de cafeeiro produzidas com diferentes substratos em diferentes ambientes, Silva *et al.* (2013), concluíram que a mistura de substrato que continha 50% de esterco bovino associado à vermiculita ou ao substrato comercial são indicados para produção de mudas de café. Os substratos testados foram: 50% esterco bovino + 50% substrato comercial; 50% esterco bovino + 50% vermiculita; 50% substrato comercial + 50% vermiculita; 1/3 esterco bovino + 1/3 substrato comercial + 1/3 de vermiculita; 50% esterco bovino + 50% areia; 1/3 areia + 1/3 esterco bovino + 1/3 substrato comercial, e 50% substrato comercial + 50% areia.

2.4.2 Casca de café carbonizada

O uso de constituintes para formular misturas de substratos é uma prática comum na produção de mudas. Materiais como esterco bovino, areia e casca de arroz carbonizada são exemplos destes constituintes. Outros materiais, como fibra de coco e casca de café, apresentam alguns estudos para este fim. A casca de café é um material produzido em grandes quantidades, apresentando rendimento aproximado de 1:1 no processo de beneficiamento, além disso, é de fácil acesso, principalmente nas regiões de produção cafeeira (SILVA, 2012).

Andrade *et al.* (2019), avaliaram o uso de diferentes doses de casca de café carbonizada (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) juntamente com substrato comercial, produzido à base de casca de pinus, cinzas, vermiculita e serragem, para produção de mudas de cafeeiro. Os autores observaram a resposta de mudas de cafeeiro de acordo com as seguintes características de crescimento vegetativo: número de folhas, diâmetro do caule, altura de plantas e área foliar. Para todas as concentrações utilizadas, os autores afirmam que a casca de café pode ser uma

alternativa de substituição parcial do substrato comercial, uma vez que proporcionou desenvolvimento equivalente para as variáveis avaliadas.

Miranda *et al.* (2001), realizaram experimento para avaliar o uso de substratos alternativos para produção de mudas de cafeeiro em tubetes. Com o objetivo de obter um substrato orgânico alternativo para produção de mudas dentro das normas da agricultura orgânica, os autores elaboraram seis misturas de substratos a partir de composto orgânico, esterco ‘cama’ de frango de aviário, palha de café e casca de arroz carbonizada, termosfato e cinza de lenha. Foi avaliada a porcentagem média de germinação aos 45 dias após a semeadura e o crescimento da parte aérea (altura). Os resultados encontrados indicam que as mudas produzidas em substrato comercial apresentaram desenvolvimento inferior às mudas produzidas nos substratos alternativos. Os autores afirmam ter obtido mudas livre de fitopatógenos e com sistema radicular bem desenvolvido nos substratos alternativos.

2.4.3 Casca de arroz carbonizada

O uso da casca de arroz carbonizada como complemento ao substrato comercial para produção de mudas de diversas espécies, vem sendo relatado no meio científico há muitos anos. Muitos pesquisadores concluíram que o uso da casca de arroz carbonizada nas devidas proporções, induz a um adequado desenvolvimento das mudas, se mostrando como uma alternativa viável para a produção das mesmas. Além disso, a busca por meios de produção sustentáveis impulsiona o reaproveitamento de resíduos orgânicos em diversas áreas (FONSECA *et al.*, 2017; MARINHO *et al.*, 2017).

Segundo Campos (2017), a casca de arroz apresenta características vantajosas para o uso como substrato para produção de mudas. Em sistemas de produção onde é feita a irrigação por nebulização, a casca de arroz é um importante aliado por apresentar baixa retenção de água e uma eficiente drenagem desta, permitindo ainda, uma boa oxigenação das raízes, devido a presença de macroporos. Além disso, possibilita maior volume de espaço de aeração ao substrato, resistência a decomposição, estabilidade estrutural, baixa densidade e pH próximo a neutralidade.

Objetivando avaliar o uso de diferentes substratos e recipientes para produção de mudas de café por meio de sementes, Vallone *et al.* (2010), realizaram um experimento com três recipientes e três substratos, sendo eles o substrato padrão composto por terra, esterco e adubos químicos, substrato comercial e substrato alternativo contendo 65% de casca de arroz carbonizada + 35% de substrato comercial. Os parâmetros avaliados foram altura das plantas,

diâmetro da base do caule, número de nós, área foliar, massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea e a relação massa seca do sistema radicular/massa seca da parte aérea. De acordo com as análises realizadas, considerando os efeitos dos substratos, os autores observaram que apenas para as características número de nós e relação entre as massas secas do sistema radicular e da parte aérea, não foram detectadas diferenças significativas entre as médias. Para as demais características, o substrato alternativo, juntamente com o comercial, apresentou médias superiores às obtidas pelo substrato padrão, se mostrando como uma alternativa viável para produção de mudas cafeeiras oriundas de sementes.

Vallone *et al.* (2004), realizaram experimento para avaliar os efeitos da substituição do substrato comercial por cinco proporções de casca de arroz carbonizada (0, 25, 50, 75 e 100%) na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. Avaliaram também os efeitos da adição de polímero hidrorretentor. Foram avaliadas as seguintes características: tempo para atingir o ponto comercial em dias, altura da muda em centímetros, diâmetro do caule, na região do colo em milímetros, área foliar em centímetros quadrados por planta, massa seca do sistema radicular e da parte aérea, em gramas por parcela de cinco plantas e relação entre as massas secas da parte aérea e do sistema radicular. Os resultados deste experimento indicam que substituir parcialmente o substrato comercial por casca de arroz carbonizada, entre 60 e 70%, proporciona maior desenvolvimento de mudas e em menor tempo.

2.4.4 Casca de café curtida

Para a melhoria da composição de substratos utilizados pelas mudas é possível a adição de diferentes materiais como esterco ou casca de café curtida. Este material deve ser bem curtido e de procedência conhecida, para evitar a infestação por fitonematóides, pragas, doenças fúngicas e/ou bacterianas ou por sementes de plantas espontâneas de difícil controle (SILVA *et al.*, 2010).

Almeida *et al.* (2011), avaliaram os efeitos de diferentes substratos no desenvolvimento inicial de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) semeadas em tubetes. Foram avaliadas combinações de três cultivares (Catuaí Vermelho IAC 44, Catucaí Amarelo 2SL e Mundo Novo IAC 19), e quatro materiais adicionados ao substrato comercial (húmus de minhoca, esterco bovino, esterco de galinhas, casca de café curtida) na porcentagem de 35%. A testemunha deste experimento foi o substrato comercial puro. Foram avaliadas características de crescimento morfológico como altura da planta, comprimento da raiz, número de folhas, diâmetro do caule, massa seca de parte aérea e raízes, dentre outros. Os resultados encontrados mostram que não

houve diferença significativa para nenhum dos tratamentos em comparação com a testemunha, ou seja, a adição de 35% de casca de café curtida ao substrato comercial é viável para produção de mudas em tubetes produzidas a partir de sementes.

Takala *et al.* (2020), estudaram o efeito do uso de composto de calcário e casca de café em diferentes combinações no crescimento de mudas de café arábica produzidas por sementes. Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de composto de casca de café e quatro doses de cal. Foram avaliados parâmetros de crescimento como, diâmetro da circunferência, número de folhas verdadeiras e área foliar estimada. Neste trabalho, os autores afirmam que os resultados mostraram que as combinações de cal e casca de café afetaram significativamente a parte aérea e o crescimento radicular das mudas. O uso dessa combinação promove um bom crescimento da parte aérea e das raízes de mudas de café. As mudas mais vigorosas foram aquelas produzidas a partir da aplicação de 18,75 g de composto de casca de café, mostrando ser um material promissor para produção de mudas a partir de sementes.

2.4.5 Areia e vermiculita

Para enraizamento de estacas de *C. arábica*, a metodologia pioneira foi feita utilizando como substrato a mistura de areia lavada e vermiculita na proporção de 1:1, tratadas com brometo de metila para impedir o desenvolvimento de microrganismos maléficos e plantas indesejadas. Após o enraizamento das estacas, aproximadamente 90 dias após o plantio, as estacas são transplantadas para outro recipiente contendo substrato comercial para a formação das mudas até atingirem o tamanho de muda recomendado para plantio em campo (JESUS, 2003).

A vermiculita é um material muito utilizado na produção de mudas de diversas espécies, se trata de um mineral da família das micas e apresenta como características o leve peso, uniformidade, além de ser isenta de microrganismos patogênicos que poderiam trazer algum malefício para o desenvolvimento das mudas. Este mineral possui alta capacidade de retenção de água e nutrientes e pode ser combinado com casca de pinus, fibra de coco e casca de arroz carbonizada, no alcance das características ideais de substratos (KRATZ *et al.*, 2013).

Pinto (2017), avaliou o enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em sistema hidropônico utilizando como substrato a vermiculita + casca de arroz carbonizada. As estacas foram provenientes da lavoura no campo experimental da Universidade Federal de Lavras da cultivar Mundo Novo IAC 379/19. Foram realizadas avaliações de crescimento e fisiológicas.

As melhores taxas de sobrevivência e maiores pesos de massa seca de raiz e parte aérea, foram observadas quando utilizada a vermiculita junto à água e fertilizante de liberação controlada.

Em busca de compostos alternativos para produção de mudas de *Coffea arabica* L. por estaquia, Pereira *et al.* (2002), avaliaram o enraizamento das mudas em diferentes composições de substratos. Com estacas herbáceas provenientes da cultivar Acaiá (LCP 474-19), o experimento foi realizado avaliando quatro fontes orgânicas curtidas: moinha de café, casca do fruto de café, esterco bovino e composto orgânico produzido a partir de restos de gramíneas, dois complementos (vermiculita e casca de arroz carbonizada). Os autores afirmam que os compostos que continham vermiculita, exceto o que apresentava terra de subsolo, podem ser utilizados como substratos para produção de mudas obtidas por estaquia desta espécie em estufas.

Braun *et al.* (2009), avaliaram o desenvolvimento inicial de mudas de café conilon (*Coffea canephora* Pierre) plantadas em solos com diferentes texturas e produzidas em diferentes substratos. Foram utilizadas estacas obtidas do tecido adulto de ramos ortotrópicos e enraizadas previamente em caixas de areia antes do transplântio para os tubetes contendo os tratamentos. As composições de substratos utilizadas foram substrato comercial + terra (proporção 1:1 v/v); substrato caseiro (terra misturada com esterco bovino e areia na proporção de 1:1:1 v/v/v); substrato comercial (mistura de matéria orgânica de origem vegetal e vermiculita expandida); terra + palha de café (proporção 1:1 v/v). Aos 150 dias após o transplântio das estacas foram avaliados a altura das mudas, diâmetro do caule, diâmetro da copa, área foliar e massa fresca da parte aérea e do sistema radicular. O uso de substrato caseiro que apresentava em sua composição a areia, apresentou resultados semelhantes em altura das mudas quando comparadas com aquelas cultivadas em substrato comercial com terra. Estes dois substratos foram os que proporcionaram melhores valores de diâmetro da copa e área foliar. No solo de textura argilo-arenosa, os melhores resultados, tanto para massa fresca, quanto para massa seca da parte aérea, foram obtidos com uso dos substratos comercial + terra e caseiro.

2.5 Fertilizante de liberação controlada

Em mudas produzidas em tubetes é utilizado um volume reduzido de substrato que precisa suprir as necessidades físicas e químicas das plantas até o momento do plantio no campo. É necessário que o substrato forneça os nutrientes para o desenvolvimento das mudas, e devido ao processo de lixiviação é importante que este fornecimento seja feito de forma

gradual. Para isso, é recomendado o uso de fertilizantes de liberação controlada (SANTOS *et al.*, 2020).

As pesquisas voltadas para o estabelecimento de uma metodologia eficaz para produção de mudas de *Coffea arabica* L. por enraizamento de estacas, buscam trabalhar com todos os fatores relacionados a essa atividade. Oliveira *et al.* (2013), desenvolveram um experimento cujo objetivo foi avaliar o enraizamento das estacas quando fornecidos fertilizantes de liberação controlada aplicado no substrato. Foram utilizadas estacas dos ramos ortotrópicos da cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 e o fertilizante de liberação controlada foi aplicado na mistura do substrato. Ao final do experimento foram avaliadas a massa seca das raízes, volume do sistema radicular, área superficial do sistema radicular e comprimento das raízes. Os autores afirmam que o fornecimento do fertilizante aumentou o comprimento de raízes em todas as classes de diâmetros para todas as doses utilizadas, mostrando um efeito positivo para a absorção de água e nutrientes.

Em experimento avaliando o crescimento de mudas de cafeeiro em tubetes com o uso de fertilizante de liberação controlada, Bachião *et al.* (2018) afirmam que, o uso de fertilizante de liberação controlada proporciona (Osmocote®) melhor crescimento das plantas. Para a variável altura de plantas, todas as cultivares utilizadas responderam de forma crescente em relação às doses do fertilizante. O diâmetro, por sua vez, apresentou menores valores quando não adicionado o adubo junto ao substrato. O fertilizante proporcionou também, aumento do número de folhas verdadeiras, que está relacionado a uma boa formação da copa da planta, colaborando para melhor absorção da radiação solar que, posteriormente, será transformada em energia química para manutenção das atividades da planta. Com isso, os autores recomendam a adição de Osmocote® para produção de mudas de *C. arabica* em tubetes nas condições deste estudo.

Franco Jr. *et al.* (2019), desenvolveram um experimento para avaliar a eficiência de fertilizante de liberação controlada no desenvolvimento inicial de mudas de café e na primeira produção de frutos. Foram utilizadas sementes da cultivar Topázio da espécie *Coffea arabica* L. e quando as mudas apresentaram quatro pares de folhas definitivas, foram avaliados: altura do caule, comprimento do sistema radicular, peso fresco e seco do sistema radicular e da parte aérea. Ao primeiro ano após o plantio, foram avaliados, por exemplo, a altura da planta e o comprimento dos ramos plagiotrópicos. Os autores concluíram que o fertilizante de liberação controlada é uma tecnologia viável, contribuindo para uma melhor qualidade das mudas, crescimento e produtividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, no *campus* da Universidade Federal de Lavras, em Lavras – MG. O ambiente do estudo apresentava controle automático de umidade relativa do ar (85 a 90%) através de sistema de microaspersão e controle da temperatura (24 °C).

Foram selecionados ramos ortotrópicos de plantas sadias e recém recepadas da cultivar Mundo Novo. Para obtenção das estacas foi seguida a metodologia proposta por Jesus (2003). Retirou-se segmentos da porção mediana dos ramos ortotrópicos, com aproximadamente 5 cm, de modo que os mesmos permanecessem com um par de folhas, que foram cortadas ao meio para reduzir a área de transpiração e a perda de água. Foram feitos cortes em bisel no ápice e na base das estacas.

Para tratamento fitossanitário, os fragmentos foram imersos em solução contendo hipoclorito de sódio a 0,05% por 10 minutos e em seguida foram lavados em água corrente para a retirada do excesso de solução. A base das estacas foi imersa em talco contendo o Ácido-Indol-Butírico (AIB) na concentração de 4.000 mg.kg⁻¹ e, então, colocadas em tubetes contendo os tratamentos.

Foram estudados 15 tratamentos em esquema fatorial 5x3, constituídos das combinações de cinco substratos e três doses de fertilizante de liberação controlada (TABELA 1). O experimento foi disposto em delineamento de blocos casualizados (DBC) com três repetições e sete plantas por parcela.

Os substratos utilizados no estudo foram: i. substrato comercial; ii. casca de café carbonizada associada ao substrato comercial (na proporção de 1:1); iii. casca de arroz carbonizada + substrato comercial (na proporção de 1:1); iv. casca de café curtida + substrato comercial (na proporção de 1:1); v. vermiculita, areia e substrato comercial (na proporção de 1:1:2).

O fertilizante de liberação controlada utilizado foi Osmocote Plus[®], com as seguintes concentrações de minerais: 16% de N; 6% de P₂O₅; 10% K₂O; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, nas doses de 7,5, 12,5 e 17,5 g.L⁻¹, aplicado na mistura do substrato.

O substrato comercial utilizado foi Plantmax-café[®] da linha Plantmax[®] da Eucatex S.A. (São Paulo, SP, Brasil), constituído pela mistura de vermiculita expandida, casca de pinus, turfa

em proporções não divulgadas pelo fabricante. O pH deste material varia entre 5,5 e 6,2 e este substrato é livre de doenças, fungos, bactérias, patógenos e de propágulos de plantas daninhas (FRANCO *et al.*, 2020).

Para a obtenção das cascas de café e de arroz carbonizadas utilizou-se um carbonizador simples, que consiste em um cilindro carbonizador, uma base de encaixe e uma chaminé. Foram feitos furos em todo o perímetro do cilindro e a casca crua foi colocada ao redor deste recipiente sem que ocorresse o contato direto do substrato com a chama (SOUZA, 1995). O mesmo processo foi realizado para os dois materiais (casca de arroz e casca de café), separadamente.

A casca de café curtida foi obtida através de processo semelhante ao de obtenção de esterco curtido. As cascas foram depositadas em local aberto por aproximadamente 120 dias e deixadas ao tempo a fim de que o calor dispersasse a maioria dos patógenos, e as chuvas diluíssem a concentração do material.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Substrato	Dose do Fertilizante de Liberação Controlada
1		7,5 g.L ⁻¹
2	Substrato comercial	12,5 g.L ⁻¹
3		17,5 g.L ⁻¹
4		7,5 g.L ⁻¹
5	Casca de café carbonizada + Substrato comercial (na proporção de 1:1)	12,5 g.L ⁻¹
6		17,5 g.L ⁻¹
7		7,5 g.L ⁻¹
8	Casca de arroz carbonizada + Substrato comercial (na proporção de 1:1)	12,5 g.L ⁻¹
9		17,5 g.L ⁻¹
10		7,5 g.L ⁻¹
11	Casca de café curtida + Substrato comercial (na proporção de 1:1)	12,5 g.L ⁻¹
12		17,5 g.L ⁻¹
13		7,5 g.L ⁻¹
14	Vermiculita + Areia + Substrato comercial (na proporção de 1:1:2)	12,5 g.L ⁻¹
15		17,5 g.L ⁻¹

Fonte: Da autora (2021).

A cada 21 dias, a partir do início do experimento, foi fornecida uma solução de sacarose na concentração de 5 g.L⁻¹ via foliar (REZENDE, 2017). Além disso, foram realizadas duas

adubações foliares do adubo Viça Café® contendo 2,67% de N, 10% K₂O, 1% Mg, 7,75% de S, 5g de B, 10% de Cu e 5% de Z, sete e quatorze dias após o transplântio.

3.2 Avaliações

Aos 150 dias após a instalação do experimento foram realizadas as avaliações de caracteres morfológicos relacionados ao desenvolvimento das mudas. Avaliou-se atributos da parte aérea e do sistema radicular das plantas. Foram mensurados o número de folhas (NF); o diâmetro dos brotos (Diam); o número de brotos (NB); e o comprimento das raízes (CompR).

Posteriormente, as mudas foram cuidadosamente retiradas do tubete e colocadas em uma bandeja contendo água para a remoção do substrato. Foram separadas as folhas, os ramos ortotrópicos e as raízes, sendo colocadas separadamente em sacos de papel, devidamente identificados, que foram levados a estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, onde permaneceram até atingir peso constante. Então, realizou-se a pesagem em balança analítica com precisão de 0,01 g e obtidas as variáveis: massa seca das raízes (MSR); massa seca do caule (MSC); massa seca das folhas (MSF); massa seca total (MST). Posteriormente, foi realizado o cálculo para obter a relação da massa seca da parte aérea x massa seca da raiz (PAR).

Ademais, realizou-se avaliação da área radicular (Área); volume radicular (Vol) e diâmetro das raízes (DiamR), por meio de análise de imagens digitais do sistema radicular de cada planta. Estas análises foram realizadas com auxílio de câmera digital e com o uso do *software* SAFIRA (Sistema de Análise de Fibras e Raízes) para o processamento dos dados (JORGE; SILVA, 2010).

3.3 Análise dos dados

Os dados obtidos foram tabulados e procedeu-se a análise estatística por meio do *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). Primeiramente, por meio da biblioteca *ExpDes*, verificou-se a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett e a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk. Quando os dados apresentaram normalidade, foram feitas as ANOVAS e, se significativos, o teste de Tukey. Quando não normais, os dados foram submetidos a transformações a fim de alcançar a normalidade e, posteriormente, também submetidos ao teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Utilizando o pacote *corrplot* R 3.6.3 do *software* R, foi realizada a análise de correlação simples de Pearson, com o objetivo de identificar possíveis estruturas de dependência entre os caracteres avaliados (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Por fim, foi realizada a análise multivariada dos dados através da Análise de Componente Principais (PCA), que consiste na redução de um grande número de variáveis criando novas variáveis, chamadas 'eixos principais' e ordenando os pontos em um gráfico bilateral. Cada uma das misturas de substratos utilizados, foram analisadas graficamente com as três diferentes doses do fertilizante de liberação controlada. E, em cada uma das doses de fertilizante, por sua vez, procedeu-se a análise com as cinco composições de substratos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância e estudo de médias

Segundo a análise de variância não houve interação entre o substrato utilizado e as doses de fertilizante de liberação controlada, uma vez que não foi observada significância (TABELA 2). Foram então, avaliados os dois fatores separadamente para cada uma das variáveis respostas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas em função das doses de fertilizante e substratos utilizados.

FV	GL	Quadrados médios das variáveis da parte aérea		
		NB	NF	Diam
Bloco	2	0,184	3,708	20,157
Substrato	4	0,103	1,031	7,727
Fertilizante	2	0,191*	1,514	21,552
S x F	8	0,050	0,338	8,714
Resíduo	28	0,048	0,719	11,789
Total	44			
CV %		12,92	24,21	31,31

FV	GL	Quadrados médios das variáveis do sistema radicular			
		Vol	Área	CompR	DiamR
Bloco	2	0,006	0,001	2,602	1,053
Substrato	4	0,011*	0,001*	1,930	3,055*
Fertilizante	2	0,000	0,000	0,074	0,467
S x F	8	0,001	0,000	1,069	0,461
Resíduo	28	0,002	0,000	1,031	0,647
Total	44				
CV %		8,29	1,34	11,32	23,93

FV	GL	Quadrados médios das variáveis da massa seca				
		MSF	MSC	MSR	MST	PAR
Bloco	2	0,000	0,001	0,004	0,001	0,002
Substrato	4	0,000	0,002	0,024	0,000	0,015*
Fertilizante	2	0,000*	0,001	0,154	0,003	0,001
S x F	8	0,000	0,001	0,141	0,002	0,005
Resíduo	28	0,000	0,002	0,304	0,002	0,004
Total	44					
CV %		50,57	26,18	24,97	19,33	23,82

Nota: * Significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Da autora (2021).

Bergo (1997) também encontrou valor elevado de coeficiente de variação (CV) para variável massa seca das folhas, ao estudar a propagação vegetativa de *Coffea arabica* L. por estaquia. Para essa variável, o CV observado foi de 42,40%. Pereira *et al.* (2002), avaliando o enraizamento de estacas em diferentes substratos, encontraram valor de 28,42% de CV para variável massa seca dos brotos, onde estava contida as folhas. Em um experimento para avaliar o enraizamento das estacas em estufim, Pereira *et al.* (2002) observaram que o CV para essa mesma variável foi de 39,83%. O CV é uma medida que indica o quanto os dados estão dispersos em torno da média, e demonstra a variabilidade inerente ao experimento.

Ao estudar a variável número de brotos (NB), verificou-se que as doses de 12,5 do fertilizante proporcionou maior média quando comparada à dose de e 7,5 g.L⁻¹ (TABELA 3). A dose de 17,5 g.L⁻¹ foi semelhante às demais (TABELA 3).

Tabela 3 - Médias para número de brotos (NB) em função das doses de fertilizante.

Doses (g.L ⁻¹)	Média
12,5	1,766 a
17,5	1,749 ab
7,5	1,563 b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Fonte: Da autora (2021).

O enraizamento das estacas e a emissão de brotos por elas, estão diretamente relacionados à disponibilidade de nutrientes e carboidratos endógenos, especialmente no início do desenvolvimento das mudas. Contudo, esse fornecimento deve ser satisfatório também de forma exógena, através da fertilização utilizada, que pode ser decisiva na emissão de raízes e brotos por essas estacas (PIO *et al.*, 2008). No presente trabalho, doses superiores proporcionaram melhores valores de número de brotos por plantas, mostrando que a presença de maiores concentrações de fertilizante pode influenciar na quantidade de brotos emitidos e no desenvolvimento das mudas.

Os resultados do atual experimento se diferem dos observados por Rezende (2013) que avaliou o uso de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (0, 1, 2 e 3 g/tubete que correspondem aproximadamente a 0, 8,33, 16,67 e 25 g/L respectivamente) e o efeito da aplicação de sacarose durante o período de enraizamento das estacas de *Coffea arabica* L. Ao avaliar caracteres morfológicos, o autor não observou diferença significativa para o número de brotações por planta.

Rezende *et al.* (2017), utilizando 12,5 g.L⁻¹ de fertilizante de liberação controlada em substrato de areia lavada e vermiculita na proporção de 1:1, avaliaram o uso de miniestacas para produção de mudas de *Coffea arabica* L. em diferentes volumes de tubetes (50 e 120 cm³). Os autores avaliaram a proporção de mudas com dois brotos e não encontraram diferenças significativas para essa variável, para os tipos de miniestaca ou volumes de tubetes. Os resultados contradizem com os encontrados no presente trabalho, mas o uso de miniestacas pode ter influenciado na emissão de brotações devido à menor disponibilidade de hormônios, de acordo com o tipo de estaca, ou de nutrientes e carboidratos, devido a menor dimensão dessas estacas.

Para o fator substrato, a variável volume de raízes (Vol), verificou-se que os tratamentos contendo casca de café curtida, ou ainda vermiculita + areia na composição do substrato utilizado para desenvolvimento das mudas, apresentaram maiores valores médios quando comparados ao substrato à base de casca de café carbonizada (TABELA 4).

Tabela 4 - Médias para variável volume (Vol) em função dos substratos utilizados.

Substrato	Média
Casca de café curtida	0,592 a
Vermiculita + areia	0,589 a
Substrato comercial	0,557 ab
Casca de arroz carbonizada	0,534 ab
Casca de café carbonizada	0,509 b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Fonte: Da autora (2021).

O desenvolvimento de estacas de *C. arabica* L. em diferentes substratos, foi avaliado por Pereira *et al.* (1998). Foram avaliados caracteres relacionados ao crescimento da parte vegetativa e do sistema radicular. Os autores encontraram melhores resultados para o sistema radicular quando utilizaram os substratos areia, húmus de minhoca, moinha de café e o substrato padrão. O uso de areia como substrato para enraizamento das estacas proporcionou percentual acima de 80%, enquanto o substrato comercial alcançou 41% de enraizamento.

Silva *et al.* (2013), estudaram o efeito de diferentes substratos e ambientes protegidos para produção de mudas de *Coffea arabica* L. Os tratamentos apresentavam diferentes percentagens de variados materiais na constituição dos substratos, sendo que, dentre eles, estavam areia e vermiculita. Avaliando caracteres de desenvolvimento morfológico de mudas

os autores concluíram que os substratos que apresentaram 50% de vermiculita em sua composição, proporcionaram melhores resultados, como melhor desenvolvimento das raízes, sendo indicado para produção de mudas de café.

Cunha *et al.* (2002), avaliaram diferentes substratos e tamanhos de recipientes para produção de mudas de *Coffea arabica* L. oriundas de sementes. Utilizando diferentes composições e percentagens de material, dentre eles areia e vermiculita, os autores observaram caracteres de desenvolvimento de sistema radicular e parte aérea. Como resultados, observaram que o substrato alternativo composto de 50% de esterco, 30% de terra de subsolo e 20% da mistura (50% de vermiculita, 25% de areia grossa e 25% de casca de arroz carbonizada) proporcionaram melhor desenvolvimento para as mudas, mostrando que o uso de areia é uma alternativa na composição dos substratos.

Os resultados do atual experimento indicam que o uso de casca de café curtida ou de areia + vermiculita, como composição do substrato para produção de mudas, proporcionaram valores semelhantes aos observados nas mudas produzidas com substrato comercial para a variável resposta volume das raízes (TABELA 4). A possibilidade de substituição parcial do substrato comercial por um destes componentes é uma alternativa de reduzir o custo de produção das mudas através da redução do gasto com substrato. Materiais como casca de café e areia podem ser obtidos de forma fácil e financeiramente viável pelos cafeicultores, podendo ser uma alternativa para a redução dos custos e aumento da rentabilidade (SILVA *et al.* 2020).

Para a variável área superficial das raízes, os substratos contendo casca de arroz carbonizada, substrato comercial e vermiculita + areia foram semelhantes (TABELA 5). Verificou-se maior valor médio de área de raízes com o uso do substrato de casca de café carbonizada, quando comparado aos valores obtidos com uso do substrato de casca de café curtida (TABELA 5).

Tabela 5 - Médias para variável área das raízes (Área) em função dos substratos utilizados.

Substrato	Média
Casca de café carbonizada	1,168 a
Casca de arroz carbonizada	1,160 ab
Substrato comercial	1,150 ab
Vermiculita + areia	1,141 ab
Casca de café curtida	1,141 b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Fonte: Da autora (2021).

Os tratamentos contendo casca de café carbonizada, na composição do substrato utilizado, apresentaram maiores valores médios de diâmetro das raízes, quando comparado aos valores obtidos pelos tratamentos contendo vermiculita + areia ou ainda, casca de café curtida no substrato. Os valores de diâmetro das raízes para os tratamentos contendo apenas substrato comercial ou com adição de casca de arroz carbonizada foram semelhantes (TABELA 6).

Tabela 6 - Médias para variável diâmetro médio das raízes (DiamR) em função dos substratos.

Substrato	Média
Casca de café carbonizada	2,969 a
Casca de arroz carbonizada	2,622 ab
Substrato Comercial	2,386 ab
Vermiculita + Areia	1,718 b
Casca de café curtida	1,617 b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Fonte: Da autora (2021).

Para as variáveis resposta diâmetro das raízes e área superficial do sistema radicular, nota-se que o uso de casca de café ou de arroz carbonizada apresentou melhores resultados (TABELAS 5 e 6). Os resultados obtidos por estes substratos são semelhantes aos obtidos ao utilizar substrato comercial. Mais uma vez, a obtenção fácil e econômica destes materiais é uma alternativa viável para redução dos gastos com substrato para a produção das mudas (SILVA *et al.* 2020). Além disso, a casca de café fornece diferentes nutrientes para o desenvolvimento das plantas, como potássio (K), fósforo (P) e nitrogênio (N), todos estes com importante participação no metabolismo destas e compõem adubos químicos utilizados na produção das mudas (MATIELLO, 2010).

Silva *et al.* (2017) avaliaram o uso de casca de café e casca de arroz carbonizada como atributo para melhorar as características físicas do substrato utilizado, para produção de mudas de cafeeiro produzidas por sementes. Os autores observaram que o uso de casca de arroz carbonizada proporcionou melhor estruturação do solo devido a maior presença de mesoporos, que são responsáveis por armazenar água de forma que fique facilmente disponível para as plantas.

Vallone *et al.* (2004), ao avaliarem os efeitos da substituição do substrato comercial por diferentes proporções de casca de arroz carbonizada (0, 25, 50, 75 e 100%) para produção de mudas de cafeeiro, avaliou caracteres que permitissem observar desenvolvimento do sistema

radicular das plantas. As mudas produzidas com substrato contendo entre 60 e 70% de casca de arroz, juntamente com substrato comercial, alcançaram melhor desenvolvimento em menor tempo, apresentando um sistema radicular otimizando a produção de raízes.

Ao estudar a variável massa seca das folhas (MSF) verificou-se o tratamento contendo a dose de fertilizante igual a 17,5 g.L⁻¹ apresentou maior valor médio quando comparada à dose de 7,5 g.L⁻¹, sendo semelhante à dose de 12,5 g.L⁻¹ (TABELA 7).

Tabela 7 - Médias para variável massa seca das folhas (MSF) em função dos substratos.

Doses g.L ⁻¹	Média
17,5	0,017 a
12,5	0,012 ab
7,5	0,010 b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si. Fonte: Fonte: Da autora (2021).

Os experimentos contendo fertilizante de liberação controlada, comumente utilizam doses inferiores a 12 g.L⁻¹, poucos estudos contendo doses superiores e/ou próximas a 17,5 g.L⁻¹ foram identificados para comparação de resultados. Isso ocorre devido ao fato de que as doses usuais para a produção de mudas em variadas culturas são bem inferiores a este valor, sendo por exemplo, aproximadamente 9,2 g.L⁻¹ para mudas de pinheira produzidas em tubetes (HAWERROTH *et al.*, 2013) e 8 g.L⁻¹ para mudas de café produzidas em tubetes (MELO, 1999).

Em experimento realizado por Kainuma *et al.* (2001), com mudas produzidas por sementes de *Coffea arabica* L. foi avaliado o efeito de diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação controlada. Para a variável massa seca das folhas, doses de 15 e 20 g.L⁻¹ proporcionaram maiores valores para essa variável, mas a dose de 10 g.L⁻¹ foi considerada a mais adequada levando-se em consideração parâmetros econômicos, uma vez que proporcionou valores estatisticamente iguais a estas doses e um bom crescimento foliar.

O mesmo ocorreu em experimento realizado por Marana *et al.* (2008), onde os autores avaliaram mudas de café arábica produzidas por sementes submetidas a diferentes doses (0, 5, 10, 15, e 20 g.L⁻¹) de fertilizante de liberação controlada em dois substratos (Plantmax® e um vermicomposto). Para a variável massa seca das folhas, as doses de 15 e 20 g.L⁻¹ foram as que proporcionaram maiores valores, sendo 15,28 g.L⁻¹ a dose que permitiu o maior peso. Ainda assim, a dose de 10 g.L⁻¹ foi a mais adequada para o crescimento e desenvolvimento das mudas,

sendo a recomendada pelos autores. Os resultados para as variáveis citadas são semelhantes aos encontrados neste experimento, onde a maior dose (17,5 g.L⁻¹) foi a que proporcionou maiores valores de massa seca das folhas. Mas a dose de 12,5 g.L⁻¹ apresentou resultados semelhantes dessa variável com as doses de 17,5 e 7,5 g.L⁻¹.

Gonçalves *et al.* (2007), avaliaram o uso de diferentes proporções de fertilizante de liberação controlada na formulação 15-10-10, para desenvolvimento de mudas de cafeeiro produzidas em tubetes a partir de sementes. Utilizando substrato padrão para produção das mudas, foram testadas seis doses do fertilizante a partir da dose padrão 8,2 g.L⁻¹ e a dose máxima testada corresponde a 200% da dose padrão (16,4 g.L⁻¹). Para relação parte aérea x raiz os autores observaram que a dose máxima utilizada proporcionou o ponto de máximo para duas das três épocas de amostragem realizadas, e contribuiu para melhor desenvolvimento da parte aérea. Para a época 3 de amostragem, que correspondeu ao momento em que as mudas apresentaram 5º par de folhas, a mesma dose proporcionou o ponto de máximo para estas características individualmente.

Verificou-se, neste trabalho, que os tratamentos onde o substrato utilizado foi apenas o comercial ou a mistura deste com casca de café carbonizada apresentaram médias superiores ao substrato Vermiculita + Areia para variável relação parte aérea x raiz (PAR) (TABELA 8)

Tabela 8 - Médias para variável relação parte aérea x raiz (PAR) em função dos substratos.

Substrato	Média
Substrato Comercial	0,297 a
Casca de café carbonizada	0,276 a
Casca de arroz carbonizada	0,248 ab
Casca de café curtida	0,225 ab
Vermiculita + Areia	0,194b

Nota: Teste de Tukey com α a 5% de significância. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si.

Fonte: Da autora (2021).

Andrade *et al.* (2019), ao avaliarem tratamentos contendo diferentes concentrações de casca de café carbonizada (20, 40, 60, 80 e 100%) complementadas, ou não, com substrato comercial, produzido a base de casca de pinus, cinzas, vermiculita e serragem, avaliaram caracteres de crescimento morfológico de mudas de café produzidas por sementes e concluíram que, para todas as concentrações utilizadas, a casca de café pode ser uma alternativa de substituição parcial do substrato comercial. Não foram observadas diferenças significativas

entre os tratamentos para as variáveis relacionadas ao sistema radicular, mostrando que o uso de casca de café carbonizada proporciona desenvolvimento semelhante das raízes quando comparados às mudas de café produzidas com substrato comercial.

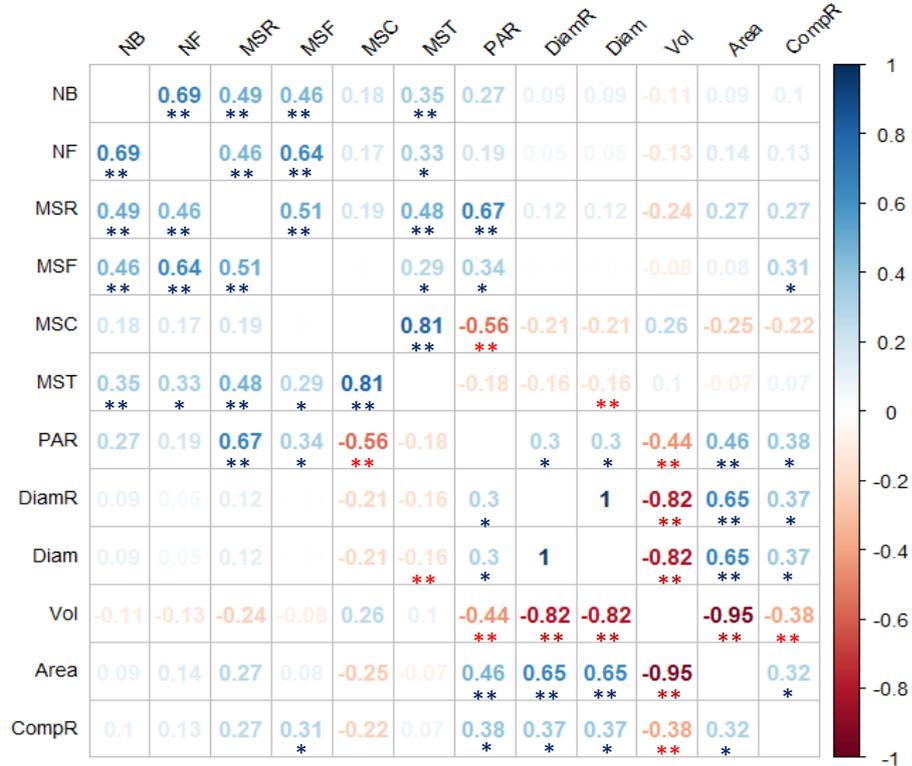
4.2 Correlação simples de Pearson

A análise de correlação simples de Pearson dos caracteres avaliados neste experimento demonstrou que há relação entre características da parte aérea e do sistema radicular das mudas (FIGURA 1). Ressalta-se que estudos que identifiquem as relações entre caracteres são de suma importância para aperfeiçoar a produção de mudas clonais de café por meio de estaquia, uma vez que, por exemplo, se torna possível obter ganhos nas características do sistema radicular indiretamente através do favorecimento da parte aérea.

O sucesso de uma lavoura está diretamente relacionado à qualidade das mudas utilizadas. Alguns autores relatam que o processo de produção das mudas pode interferir no desenvolvimento das mesmas no campo e até na produção do fruto. Diversos parâmetros são utilizados para definir uma muda de qualidade, como por exemplo, a relação dos caracteres de parte aérea e sistema radicular; a relação da altura da parte aérea com o diâmetro do coleto e; a relação da massa seca da parte aérea com a massa seca das raízes (VALLONE *et al.*, 2009).

Foi observada correlação entre a relação parte aérea raiz (PAR) e massa seca das raízes (MSR) de 0,67 e os caracteres de massa seca das folhas (MSF) e massa seca das raízes (MSR) apresentaram correlação de 0,51 (FIGURA 1). Rezende (2016), verificou as possíveis associações entre caracteres do sistema radicular e da parte aérea de mudas de café arábica produzidas através de estaquia e miniestaquia. O autor observou que valores maiores dos caracteres de peso seco das folhas, número de folhas e altura da parte aérea estão associados a valores maiores de peso das raízes secas, área e volume das raízes em mudas clonais de *Coffea arabica* L. obtidas a partir de estacas.

Figura 1 - Matriz de correlação de Pearson para mudas de café produzidas com o uso de diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação controlada.



Nota: Número de brotos (NB); Número de folhas (NF); Diâmetro médio dos brotos (Diam); Comprimento médio das raízes (CompR); Massa seca das folhas (MSF), Massa seca do caule (MSC), Massa seca das raízes (MSR), Massa seca total (MST), Relação parte aérea x raiz (PAR); Volume das raízes (Vol), Área superficial das raízes (Área).

Fonte: Da autora (2021).

No atual experimento, a massa seca total e a massa seca do caule apresentaram correlação de 0,81 (FIGURA 1). Em diversos experimentos realizados, ao avaliar estes dois caracteres, foram encontrados valores aproximados ao deste. José *et al.* (2005) observaram correlação igual a 0,99 entre a massa seca total e a massa seca da parte aérea, que inclui a massa seca do caule. Binotto *et al.* (2010), por sua vez, encontraram correlação igual a 0,95 e 0,93 entre estes caracteres para duas diferentes espécies de eucalipto. Smiderle *et al.* (2017), avaliaram a correlação entre os atributos morfológicos na qualidade de mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. *f. flavicarpa* Deg) e encontraram correlação de 0,96 entre a massa seca total e a massa seca da parte aérea.

A qualidade das mudas, em diversas espécies, pode estar relacionada com o diâmetro do caule que, por sua vez, pode ser um indicador de melhores desenvolvimentos, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular. Mudas com sistema radicular bem desenvolvido apresentam melhor absorção de nutrientes e melhor crescimento. Neste estudo, o diâmetro das raízes apresentou correlação com volume e área do sistema radicular de -0,82 e 0,65, respectivamente (FIGURA 1). Algumas variáveis, como diâmetro de brotos e comprimento das raízes

apresentaram baixa correlação com as demais características analisadas neste experimento (FIGURA 1). A análise de correlação busca identificar uma relação entre a variabilidade das características estudadas. Quando ocorre baixa variabilidade é provável que se encontre uma baixa correlação, ou seja, não é possível associá-la com outra variável (MONTARDO *et al.*, 2003). O comprimento do sistema radicular pode ter sido limitado pelo tamanho dos recipientes, fazendo com que as raízes alcançassem um valor aproximado das demais devido à falta de espaço para seu desenvolvimento.

4.3 Análise de componentes principais

Foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA) para melhor compreensão do comportamento das variáveis dependentes correlacionadas em cada substrato estudado, em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FIGURA 2).

A análise de componentes principais para as mudas produzidas em substrato comercial sob as diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, apresentou a soma dos componentes igual a 57,61%, sendo que o componente 1 (PC1) explicou 30,47% e o componente 2 (PC2) explicou 27,14% da variância dos dados. O PC1 apresentou uma correlação positiva com a variável massa seca das raízes, enquanto que o PC2 demonstrou correlação positiva com massa seca do caule e negativa com número de folhas (FIGURA 2A).

Nota-se, para o tratamento contendo a dose de fertilizante igual a de 17,5 g.L⁻¹, uma tendência de aumento nas características diâmetro dos brotos, diâmetro médio das raízes, comprimento das raízes e massa seca das folhas (FIGURA 2A). Já para os tratamentos com dose igual a 7,5 g.L⁻¹, as variáveis mais correlacionadas foram massa seca do caule, área superficial das raízes volume das raízes e massa seca total (FIGURA 2A).

Para as diferentes doses de fertilizante de liberação controlada no substrato contendo em sua composição casca de café carbonizada, a soma dos componentes foi 57,27%, sendo 35,96% para PC1 e 21,31% para PC2 (FIGURA 2B). A soma desses componentes pode ser considerada de média explicação para as variáveis (SNEATH; SOKAL, 1973). A PC1 apresenta correlação positiva com as variáveis volume e comprimento das raízes e negativa com massa seca total. A PC2 apresenta correlação positiva com diâmetro dos brotos e massa seca das folhas (FIGURA 2B).

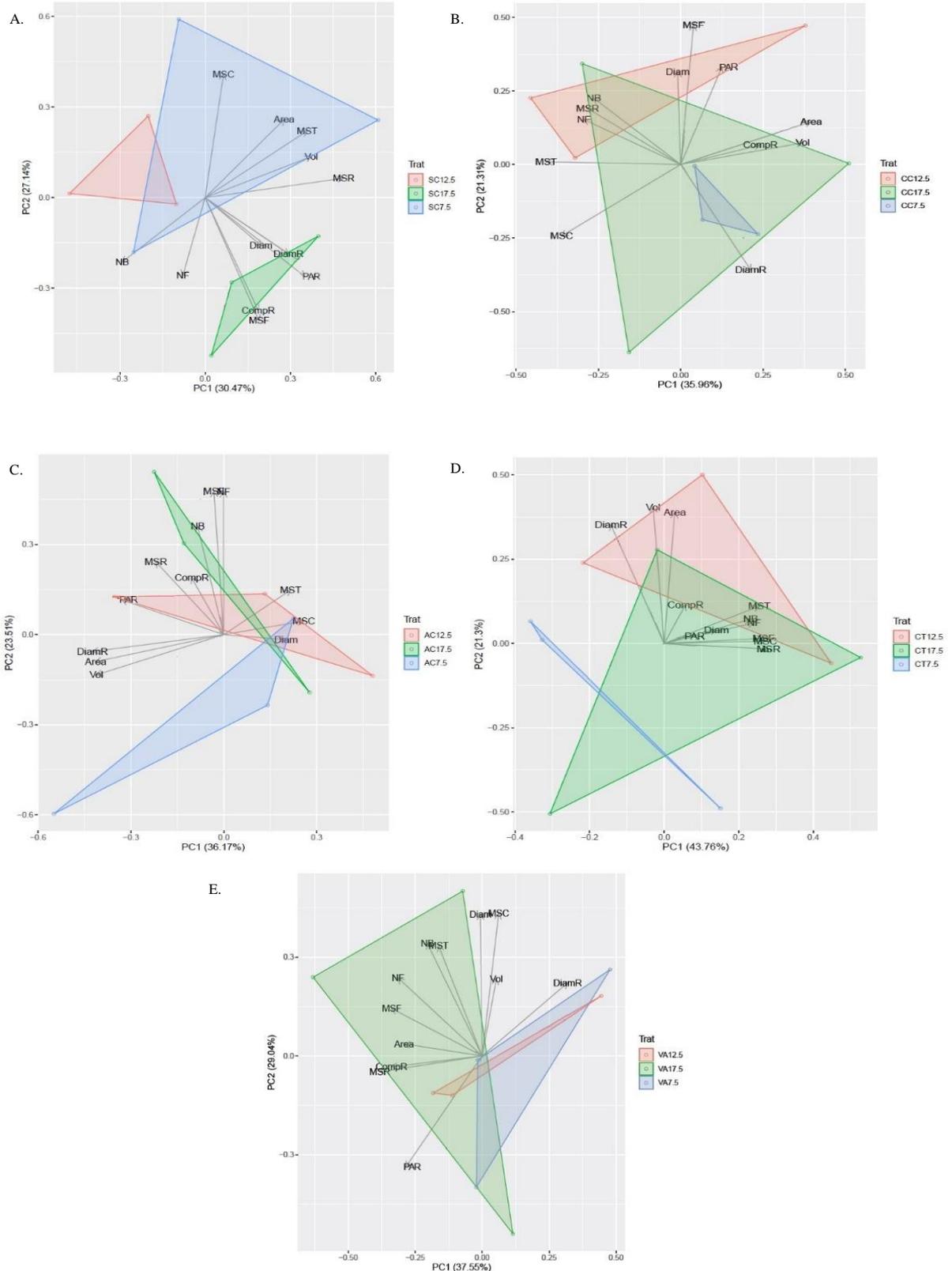
Pode-se inferir, observando a direção dos eixos das variáveis, que a dose 12,5 g.L⁻¹ apresentou a maior explicação para as variáveis número de brotos, massa seca das raízes, número de folhas, diâmetro dos brotos e relação parte aérea x raiz (FIGURA 2B). A dose 17,5

g.L^{-1} explicou melhor as variáveis número de brotos e comprimento das raízes. Sendo assim, para mudas produzidas em substrato contendo casca de café carbonizada, as variáveis de forma geral, são melhores explicadas quando utilizadas doses superiores à dose de $7,5 \text{ g.L}^{-1}$.

O PCA para diferentes doses de fertilizante de liberação controlada no substrato contendo em sua composição casca de arroz carbonizada apresentou soma dos dois componentes principais igual a 59,68%, sendo 36,17% para PC1, que apresentou correlação positiva com as variáveis diâmetro dos brotos, massa seca do caule e negativa com diâmetro das raízes; e 23,51% para PC2, que apresentou correlação positiva com massa seca das folhas e número de folhas (FIGURA 2C).

Para os tratamentos acima, é possível deduzir que o substrato contendo casca de arroz carbonizada e a dose de $12,5 \text{ g.L}^{-1}$ do fertilizante explicou melhor as variáveis diâmetro dos brotos, massa seca do caule, e relação parte aérea x raiz. A variável diâmetro dos brotos também pode ser explicada ao utilizar a casca de café carbonizada com a dose de $7,5 \text{ g.L}^{-1}$. Enquanto o substrato que continha casca de arroz carbonizada com a dose de fertilizante igual a $17,5 \text{ g.L}^{-1}$ explica melhor a variável número de brotos (FIGURA 2C).

Figura 2 - Análise de componentes principais das variáveis relacionadas ao desenvolvimento das mudas de *Coffea arabica* L. produzidas utilizando substrato comercial (A), casca de café carbonizada (B), casca de arroz carbonizada (C), casca de café curtida (D) e areia + vermiculita (E) em função das diferentes doses de fertilizante.



Fonte: Da autora (2021).

As relações entre as variáveis de crescimento e qualidade de mudas, e as diferentes proporções de adubo de liberação controlada na mistura de substrato com casca de café curtida em sua composição, podem ser visualizadas a partir da análise de componentes principais (FIGURA 2D).

A variabilidade dos dados foi explicada em 43,76% pela PC1 que apresentou correlação positiva com as variáveis relação parte aérea x raiz, diâmetro de brotos, massa seca das raízes, massa seca do caule e massa seca das folhas; e 21,3% pela PC2, que apresentou correlação comprimento, volume e área superficial das raízes (FIGURA 2D). A soma das duas componentes explicou 65,06% da variabilidade total dos dados. O substrato contendo casca de café curtida e fertilizante na dose $17,5 \text{ g.L}^{-1}$ apresentou uma tendência de aumento das variáveis respostas relação parte aérea x raiz, diâmetro de brotos, massa seca das raízes, número de folhas, número de brotos, massa seca de caule, folhas, raízes e total. Para o mesmo substrato contendo a dose de $12,5 \text{ g.L}^{-1}$ as variáveis que apresentaram tendência de aumento foram diâmetro de brotos, área superficial, volume e diâmetro das raízes.

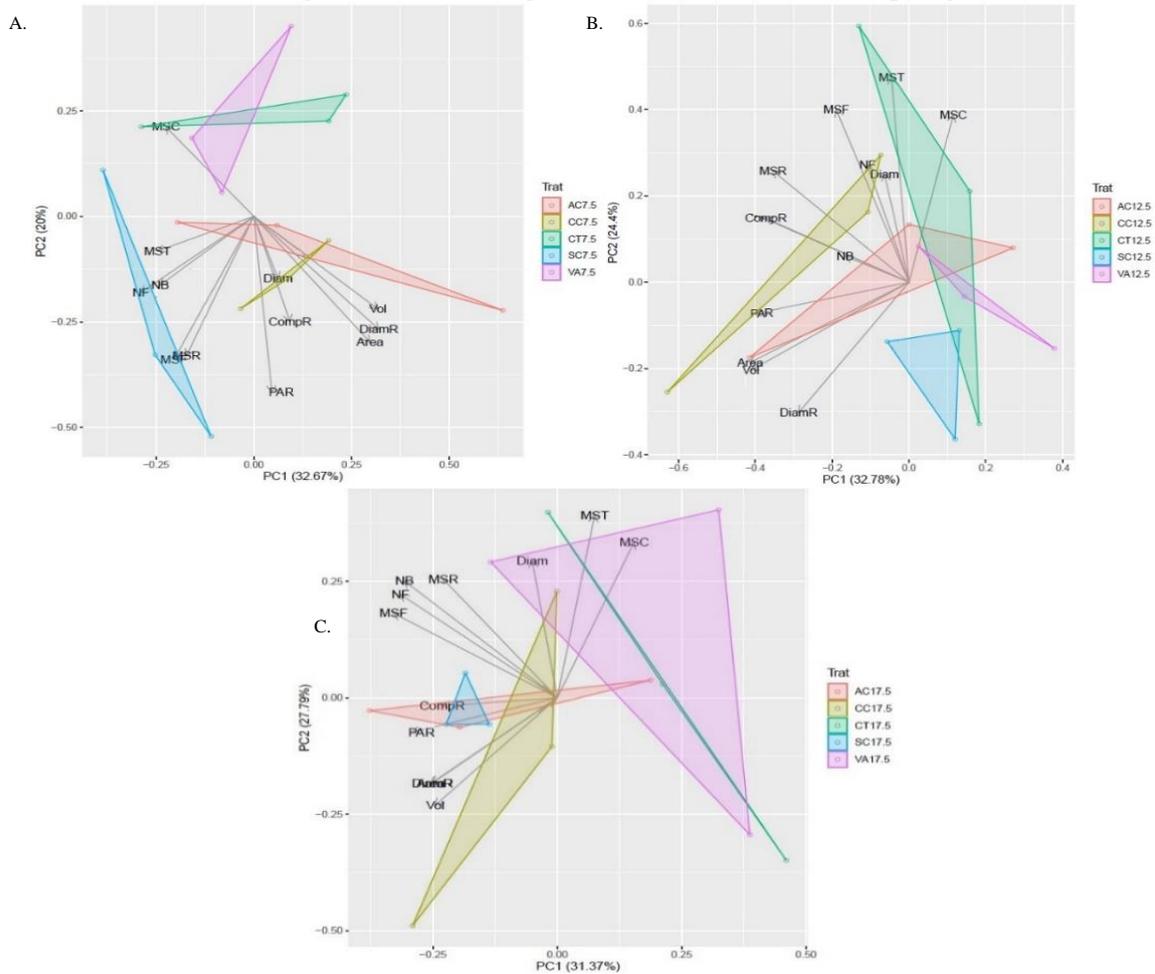
A PCA para a relação entre as variáveis de crescimento e qualidade de mudas, e as diferentes proporções de adubo de liberação controlada na mistura de substrato que apresentou areia + vermiculita em sua composição, mostrou que a variabilidade dos dados foi explicada em 37,55% pela PC1 e 29,04% pela PC2, totalizando 66,59% da variabilidade total dos dados. PC1 apresentou correlação negativa com as variáveis massa seca das folhas, comprimento e área superficial das raízes, enquanto PC2 mostrou correlação positiva com volume radicular, diâmetro dos brotos e massa seca do caule (FIGURA 2E).

Também foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA) para melhor compreensão do comportamento das variáveis dependentes correlacionadas em cada dose de fertilizante de liberação controlada em função dos diferentes substratos (FIGURA 3).

A variabilidade dos dados observados em mudas produzidas utilizando a dose de fertilizante igual a $7,5 \text{ g.L}^{-1}$ para as diferentes composições de substrato pode ser explicada em 32,67% por PC1 e 20% por PC2 na análise de componentes principais, sendo a soma desses componentes igual a 52,67%. As variáveis diâmetro dos brotos, relação parte aérea x raiz e comprimento das raízes apresentaram correlação negativa com PC2 (FIGURA 3A).

Dentre os substratos utilizados neste experimento com a dose de $7,5 \text{ g.L}^{-1}$, o substrato comercial melhor explicou as variáveis de número de folhas, massa seca das raízes e das folhas. Esta combinação é a que mais se assemelha à utilizada usualmente na produção de mudas de café em tubetes. A mistura de substrato contendo casca de café curtida melhor explicou a variável MSC (FIGURA 3A).

Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) das variáveis relacionadas ao desenvolvimento das mudas de *Coffea arabica* L. produzidas utilizando 7,5 g.L⁻¹(A), 12,5 g.L⁻¹ (B) E 17,5 g.L⁻¹ (C) em diferentes composições de substratos.



Fonte: Da autora (2021).

A PCA para diferentes substratos utilizando a dose de fertilizante de liberação controlada igual a 12,5 g.L⁻¹ apresentou soma dos dois componentes principais igual a 57,18%, sendo 32,78% para PC1 e 24,4% para PC2, que apresentou correlação positiva com diâmetro dos brotos e massa seca total (FIGURA 3B). Nota-se que para o substrato com casca de café curtida e dose de fertilizante de 12,5 g.L⁻¹ houve uma tendência de aumento na característica massa seca total. Já para o substrato com casca de café carbonizada e mesma dose de fertilizante, as variáveis mais correlacionadas foram diâmetro dos brotos, número de folhas e relação parte aérea x raiz.

As relações entre as variáveis respostas avaliadas e as diferentes composições de substratos utilizando a dose de 17,5 g.L⁻¹ de fertilizante de liberação podem ser visualizadas a partir da análise de componentes principais (FIGURA 3C). A variabilidade dos dados foi

explicada em 31,37% pela PC1 que apresentou correlação negativa com comprimento das raízes e 27,79% pela PC2, que apresentou correlação positiva com diâmetro dos brotos e massa seca total. A soma das duas componentes explicou 59,16% da variabilidade total dos dados (FIGURA 3C). É possível inferir que, para o substrato contendo vermiculita + areia e dose de fertilizante de $17,5 \text{ g.L}^{-1}$, houve uma tendência de aumento na característica diâmetro dos brotos e massa seca do caule.

5 CONCLUSÕES

O fertilizante de liberação controlada interferiu no desenvolvimento tanto de parte aérea quanto de sistema radicular das mudas de café arábica produzidas por estaquia.

O uso de substrato alternativos é uma alternativa viável para produção de mudas clonais de café arábica, podendo contribuir para o melhor desenvolvimento de caracteres morfológicos.

REFERÊNCIAS

- AGNOLETTI, B. Z. *et al.* Discriminação de café arábica e conilon utilizando propriedades físico-químicas aliadas à quimiometria. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 785-805, 2019.
- ANDRADE, D. **Substratos alternativos para a produção de mudas de cafeeiro no sistema orgânico**. 2015. 67 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- ANDRADE, O. V. S. *et al.* Características fisiológicas em mudas de cafeeiro produzidas a base de casca de café carbonizada. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória, ES. **Anais [...]**. Vitória, ES: Consórcio Pesquisa Café, 2019. p. 232.
- AQUINO, L. P. *et al.* Cortes basais e substratos na formação de mudas clonais. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 9 - 16, jan./mar. 2017.
- ALMEIDA, S. L. S. de *et al.* Adição de resíduos orgânicos ao substrato para produção de mudas de café em tubete. **Revista Agrogeoambiental**, [s.l.], v. 3, n. 2, 2011.
- AZEVEDO, H. P. A. *et al.* Vegetative and enzymatic analysis of the initial stages of *Coffea arabica* L. grown from seeds treated with humic substances. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 14, n. 32, p. 1621-1628, 2019.
- BACHIÃO, P. O. B. *et al.* Crescimento de mudas de cafeeiro em tubes com fertilizante de liberação lenta. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p. 105-116, 2018.
- BALIZA, D. P. **Antecipação da produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com utilização de diferentes tipos de mudas**. 2009. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- BALIZA, D. P. *et al.* Antecipação da produção e desenvolvimento da lavoura cafeeira implantada com diferentes tipos de mudas. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2013.
- BERGO, C. L.; MENDES, A. N. G. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas**. Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2000.
- BERGO, C. L. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) através de enraizamento de estacas**. 1997. 77 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457–464, dez. 2010.

- BRAUN, H. *et al.* Desenvolvimento inicial do café conillon (*coffea canephora pierre*) em solos de diferentes texturas com mudas produzidas em diferentes substratos. **Idesia (Arica)**, [s.l.], v. 27, n. 3, p. 35-40, 2009.
- CAMPOS, J. A. *et al.* Brotação de ora-pro-nóbis em substrato alternativo de casca de arroz carbonizada. **Holos**, [s.l.], v. 7, p. 148-167, 2017.
- CARVALHO, A. de O.; NEVES, A. H. B.; DE QUADROS TRONCO, K. M. Propagação vegetativa de espécies florestais da Amazônia. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 10, p. 83417-83430, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Café**. V. 8, N. 2. Segundo Levantamento, maio. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- CUNHA, R. L. da; SOUZA, C. A. S.; ANDRADE NETO, A. de; MELO, B. de; CORRÊA, J.F. Avaliação de substratos e tamanhos de recipientes na formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L) em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n. 1, p. 7-12, 2002.
- CUNHA S. H. B. da. **Hidroponia modificada e espuma fenólica como inovações tecnológicas no enraizamento e crescimento de estacas de Coffea arabica L.** 2021. 79 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- DOMINGHETTI, A.W. *et al.* Tolerância ao déficit hídrico de cafeeiros produzidos por estaquia e embriogênese somática. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 117-126, jan./mar. 2016.
- EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. In: MESQUITA, C. M. *et al.* **Manual do café: implantação de cafezais (Coffea arábica L.)**. Belo Horizonte: EMATER, 2016. 50 p. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_implantacao_cafezais.pdf. Acesso em: 19 jan. 2021.
- FONSECA, E. F. *et al.* Uso potencial da casca de arroz carbonizada na composição de substrato para produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L) Speg. **Desafios**, [s.l.], v. 4, n. 4, 2017.
- FRANCO, D. *et al.* Avaliação de substratos no desenvolvimento inicial de seis porta-enxertos de citros. **Citrus Research & Technology**, [s.l.], v. 28, n. 1-2, p. 0-0, 2020.
- FRANCO JUNIOR. K. S. F. Evaluation of slow-release fertilizer on the initial development and coffee production. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 538 - 543, oct./dec. 2019.
- GERVASIO, C. R. *et al.* Substratos na produção de mudas de espécies nativas do sul do Brasil. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 28, n. 2, p. 268-272, 2016.

GONÇALVES, M. D. B. **Produção e consumo de café: uma análise do custo de oportunidade de produção de cafés especiais e convencionais.** 2018. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2018.

GONÇALVES, S. M. Estudo de doses do adubo de liberação lenta (Osmocote) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais [...].** Águas de Lindóia: Embrapa Café, 2007.

HAWERROTH, F. J. *et al.* **Doses de adubo de liberação lenta na produção de mudas de pinheira em tubetes.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 21 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 79).

JESUS, A. M. S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2003. 173 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

JESUS, A. M. S.; DE CARVALHO, S. P.; SOARES, A. M. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 14-20, 2006.

JESUS, A. M. S.; CARVALHO, S. P.; VILLA, F.; Lara, A. C. C. Aspectos fitotécnicos de estacas caulinares de cafeeiro enraizadas. **Scientia Agraria Paranaensis, [s.l.]**, v. 12 n. 4, p. 308-319, 2013.

JORGE, L. A. de C. e S.; BUENO, D. J. da C. **Safira: manual de utilização.** São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2010. 29 p.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius raddi*) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KAINUMA, R. H *et al.* Qualidade de mudas *Coffea arábica* desenvolvidas em diferentes substratos e doses de adubo de liberação lenta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. **Anais [...].** Vitória, ES: Embrapa Café, 2001, p. 1865-1872.

KRATZ, D. *et al.* Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

LAMBERT, J. C. *et al.* Tratamento químico, térmico e biológico de solo para controle de *Meloidogyne exigua* na formação de mudas de *Coffea arabica*. **Educação Profissional e Tecnológica em Revista, [s.l.]**, v. 6, n. 3, p. 68-77, 2020.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; KAIMUNA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.1, p. 39-45, 2008.

- MARINHO, P. H. A. *et al.* Influência de diferentes substratos na produção de mudas de flamboyant *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 11, n 1, p. 40-46, 2017.
- MATIELLO, J. B. *et al.* **Cultura do Café no Brasil**. Manual de Recomendações. Mapa: Fundação Procafé, 2010.
- MELO, B. **Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes**. 1999. 65 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1999.
- MIRANDA, S. C. de *et al.* Substratos alternativos para produção de mudas de cafeeiro em tubetes. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 2., 2001, Vitória, ES. **Anais [...]**; Vitória, ES, 2001.
- MONTARDO, D. P. *et al.* Análise de trilha para rendimento de sementes em trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 32, n. 5, p. 1076-1082, 2003.
- OLIVEIRA, D. P. **Crescimento de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citrodora* em substrato contendo casca de café carbonizada**. 2010. 42 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- OLIVEIRA G. F. *et al.* Quantile regression in genomic selection for oligogenic traits in autogamous plants: A simulation study. **Plos one**, jan. 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0243666>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; DE MELO, C. S. F. T. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, 2012.
- OLIVEIRA, L. L. *et al.* Efeito de sacarose e de fertilizante de liberação lenta no sistema radicular de mudas obtidas por estacas caulinares de *Coffea arabica*. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 8., 2013, Salvador, BA. **Anais [...]**. Salvador, BA, 2013.
- PEREIRA, A. B. *et al.* Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em diferentes substratos. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 741-748, 2002.
- PEREIRA, A. B. *et al.* Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em estufim. **Agrotrópica**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 91-96 2002.
- PEREIRA, A. B. *et al.* Avaliação do comportamento de três cultivares de *Coffea arabica* L. plantados em diferentes substratos para enraizamento de estacas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas, 1998. p. 200-203.

PINTO, F. A. P. **Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em sistema hidropônico.** 2017. 48 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

PIO, R. *et al.* Enraizamento de estacas apicais de figueira e desenvolvimento inicial das plantas no campo. **Scientia Agraria**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 147-152, 2008.

QUESADA, A. M.; SEQUEIRA, F. M.; ALVARADO, L. D. J. Efecto de fitohormonas y fertilizantes sobre el enraizamiento y crecimiento de mini-estaquillas de híbridos F1 de café (*Coffea arabica*). **Revista de Ciencias Ambientales**, [s.l.], v. 54, n. 1, p. 58-75, 2020.

R, DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

REZENDE, T. T. **Clonagem de *Coffea arabica* L. por enraizamento de segmentos de ramos ortotrópicos.** 2016. 102 p. Tese. (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

_____. **Efeito de sacarose e de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas por estacas caulinares de *Coffea arabica* L.** 2013. 99 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

REZENDE, T. T. *et al.* Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por miniestacas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 91 - 99, jan./mar. 2017.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, E.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. ***Coffea arabica* L.: do plantio a colheita.** Viçosa: UFV, 2015. p. 316.

SANTOS, A. R. dos *et al.* Controlled-release fertilizer in the growth of *Dalbergia nigra* seedlings. **Floresta**, [s.l.], v. 50, n. 2, p. 1203-1212, 2020.

SARAIVA, C. E. do A. B. *et al.* Competitividade da cafeicultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, [s.l.], v. 27, n. 3, p. 9-16, 2018.

SHIGUEOKA, L. H. *et al.* Avaliação de clones f 1 de café arábica com resistência múltipla a parasitos e adversidades edafoclimáticas em londrina-paraná. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 6., 2009, Vitória, ES. **Anais [...]**, Vitória: Embrapa Café, 2009.

SILVA, A. P. da *et al.* Coffee seedlings in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 589-600, 2013.

SILVA, E. M. *et al.* Produção de mudas de cafeeiro. *In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Eds.). Café arábica: do plantio à colheita.* Lavras: EPAMIG, 2010. V. 1. p. 223–282.

SILVA, J. dos S. **Efeito de níveis de vermiculita no desenvolvimento inicial de mudas de *Coffea arabica* L. produzidas em saquinhos de polietileno e tubetes.** 2019. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2019.

SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, 2012.

SILVA, O. M. das C. *et al.* Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal** [s.l.], v. 30, n. 4, 2020.

SILVA, E. A. *et al.* Casca de arroz carbonizada e casca de café na melhoria dos atributos físicos de substrato convencional utilizado para produção de mudas de cafeeiro. **Tecnol. & Ciên. Agrop.**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 13-18, out. 2017.

SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573 p.

SMIDERLE, O. J. *et al.* Controlled-release fertilizer in the production of seedlings of *Annona cacans* Warm. **Journal of Agricultural Studies**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 125-133, 2020.

SMIDERLE, O. J. *et al.* Correlação morfológica da qualidade de mudas de maracujazeiro-amarelo com substratos alternativos. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, [s.l.], [s.v.], [s.n.], p. 2747-2758, 2017.

SOUZA, D. M. S. C. *et al.* Produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples. **Espacios**, [s.l.], v. 38, n. 47, 2017.

SOUZA, F. X. **Descrição e utilização de um carbonizador de cascas de arroz para uso na propagação de plantas**. Fortaleza: EMBRAPA/CNPAT, 1995. (Comunicado Técnico). N. 63. p.1-3.

SOUZA, H. S. *et al.* Efeito de diferentes sistemas de produção de mudas e substratos no desenvolvimento de *Enterolobium Contortisiliquum*. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 1093- 1100, 2016.

SOUZA, J. L. da C. S. *et al.* Estaquia em frutíferas do Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 15531-15544, 2020.

TAKALA, B. *et al.* Effect of lime and coffee husk compost on growth of coffee seedlings on acidic soil of Haru in Westerb Ethiopia. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 2391-2400, 2020.

TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N. Cap 3: Produção de Mudas e Plantio. In: **Café arábica: do plantio a colheita**. SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, E.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. Viçosa: UFV, 2015. p 46-63.

VALENCIA, A. *et al.* Introgression of the SH3 gene resistant to rust (*Hemileia vastatrix*) in improved lines of CASTILLO ® variety (*Coffea arabica* L.). **J Plant Breed Crop Sci.**, [s.l.], v. 9, p. 130–138. 2017.

VALLONE, H. S. *et al.* Effect of different recipients and substrate used in the production of coffee tree seedlings in the initial development in greenhouse under water stress. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 320-328, abr. 2010.

VALLONE, H. S. *et al.* Recipients and substrates in the production of seedlings and initial development of coffee trees after planting. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1327-1335, 2009.

VALLONE, H. S. *et al.* Substituição do substrato comercial por casca de arroz carbonizada para produção de mudas de cafeeiro em tubetes na presença de polímero hidrorretentor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 593-599, 2004.

VILELA, D. J. M. *et al.* Nutritional efficiency in phosphorus of arabica coffee genotypes. **Coffee Science**, Lavras, v. 16, p. e161831, 2021.

VILELA, X. M. de S. **Fungicidas sistêmicos para ferrugem do cafeeiro: controle e eficiência na mistura com cúpricos e fertilizantes foliares.** 2020. 88 p. Dissertação. (Mestrado Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

ZANIN, F. C. **Análise de expressão gênica de membros da família SAUR durante a embriogênese somática de *Coffea arabica* L.** 2017. 45 p. Dissertação. (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.