



**CÁSSIO PEREIRA HONDA FILHO**

**ÁREA FOLIAR REMANESCENTE, BORO, ZINCO E  
SACAROSE NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L.  
POR MINIESTAQUIA**

**LAVRAS-MG  
2023**

**CÁSSIO PEREIRA HONDA FILHO**

**ÁREA FOLIAR REMANESCENTE, BORO, ZINCO E  
SACAROSE NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L. POR  
MINIESTAQUIA**

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

Prof.º Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2023**

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

Pereira Honda Filho, Cássio.

Área foliar remanescente, boro, zinco e sacarose na produção  
de mudas de *Coffea arabica* L. por miniestaquia / Cássio Pereira  
Honda Filho. - 2022.

67 p.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.  
Bibliografia.

1. Clonagem. 2. *Coffea arabica*. 3. Micronutrientes. I. José  
Guimarães, Rubens. II. Título.

**CÁSSIO PEREIRA HONDA FILHO**

**ÁREA FOLIAR REMANESCENTE, BORO, ZINCO E  
SACAROSE NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L. POR  
MINIESTAQUIA**

**REMAINING LEAF AREA, BORON, ZINC AND  
SUCROSE IN THE PRODUCTION OF SEEDLINGS OF *Coffea arabica* L. BY MINI-  
CUTTINGS**

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

Aprovada em 30 de novembro de 2022.  
Dalyse Toledo Castanheira  
Francislei Vitti Raposo  
Tiago Teruel Rezende  
Carlos Henrique Siqueira de Carvalho

Prof.º Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2023**

A meus pais, Lúcia Helena e Cássio, por serem responsáveis pela minha criação, valores adquiridos e, amor e apoio incondicional. A meus avós Nélio (*in memoriam*) e Maria Lúcia pelos bons momentos e todo o carinho. A minha irmã Camila pelo companheirismo durante caminhada,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a *Deus*, pois sem Ele nada disso seria possível.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia e ao Setor de Cafeicultura.

Ao professor Samuel, grande exemplo que carregarei pelo resto de minha vida. Agradeço por todos os momentos de aprendizado, descontração, apoio e inspiração durante esses anos, compreendendo graduação e doutorado.

Ao professor Rubens, pela orientação no doutorado, paciência e prontidão para apoiar e ensinar a todos ao seu redor. Com certeza um outro grande exemplo a ser seguido.

Ao Filipe, Alexandre e Mateus, que além de sua amizade e ajuda no dia a dia do setor, sempre fizeram com que o ambiente de trabalho fosse leve.

À Marli, por toda paciência, amizade e suporte durante todo o meu doutorado.

Aos grandes amigos e amigas que fiz durante meus anos de UFLA, os quais e as quais levarei para sempre na lembrança, em especial aos grandes irmãos da República Terra Roxa.

Aos companheiros do NEMEC pela convivência harmoniosa, amizade, confraternizações e, auxílio nos experimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, a qual eu agradeço imensamente.

Meu muito obrigado!

## RESUMO

A mini estaquia pode ser considerada uma especialização da estaquia convencional. Basicamente consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo processo de estaquia, ou mudas produzidas por sementes. Além disso, pode representar uma alternativa potencialmente viável para espécies lenhosas cujo processo de estaquia convencional resulta em percentual de enraizamento variável e baixa qualidade na formação de raízes, como é o caso da espécie *Coffea arabica* L. Objetivou-se avaliar a influência de boro, zinco, sacarose e a área foliar remanescente no enraizamento de miniestacas de *Coffea arabica* L. Foram então realizados dois experimentos em delineamento inteiramente ao acaso, dispostos em fatorial triplo 2x3x3, sendo: presença ou não de boro (experimento 1) ou zinco (experimento 2) na solução de enraizamento com AIB; sacarose a 0, 10 e 20% de concentração aplicada a cada 20 dias; níveis de área foliar remanescente nas miniestacas (25, 50 e 75%). Em ambos os experimentos se notou que a presença de B e Zn foram eficientes para um bom crescimento radicular; o aumento na concentração de sacarose na calda de pulverização foi benéfica para o crescimento radicular em ambos os experimentos; tratamentos com 75% de área foliar remanescente foram superiores aos demais tratamentos. Conclui-se que o atual protocolo de enraizamento de miniestacas de café arábica deve ser ampliado com: adição de B ou Zn na solução com AIB; utilização de doses de sacarose exógena a 20% de concentração em um intervalo de 20 dias; opção da manutenção de um maior percentual da área foliar remanescente para um enraizamento de miniestacas mais eficiente e homogêneo.

**Palavras-chave:** Clonagem. *Coffea arabica*. Micronutrientes.

## ABSTRACT

Mini cuttings can be considered a specialization of conventional cuttings. It basically consists of the use of shoots from plants propagated by the cutting process, or seedlings produced by seeds. In addition, it may represent a potentially viable alternative for woody species whose conventional cutting process results in variable rooting percentage and poor quality in root formation, as is the case of the species *Coffea arabica* L. The objective was to evaluate the influence of boron, zinc, sucrose and the remaining leaf area in the rooting of minicuttings of *Coffea arabica* L. Two experiments were then carried out in a completely randomized design, arranged in a triple factorial 2x3x3, as follows: presence or absence of boron (experiment 1) or zinc (experiment 2 ) in the rooting solution with AIB; sucrose at 0, 10 and 20% concentration applied every 20 days; levels of remaining leaf area on minicuttings (25, 50 and 75%). In both experiments it was noted that the presence of B and Zn were efficient for good root growth; the increase in sucrose concentration in the spraying solution was beneficial for root growth in both experiments; treatments with 75% of remaining leaf area were superior to the other treatments. It is concluded that the current protocol for rooting arabica coffee minicuttings should be expanded with addition of B or Zn in the solution with AIB; use of exogenous sucrose doses at 20% concentration in an interval of 20 days; option of maintaining a higher percentage of the remaining leaf area for a more efficient and homogeneous rooting of minicuttings.

**Keywords:** Cloning. *Coffea arabica*. Micronutrients.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Ajuste de regressão para altura de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar e sacarose.....26
- Figura 2** – Ajuste de regressão para o diâmetro médio da brotação de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....27
- Figura 3** – Ajuste de regressão para número de folhas novas de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....28
- Figura 4** – Ajuste de regressão para o volume de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar.....29
- Figura 5** – Ajuste de regressão para a área superficial de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar.....30
- Figura 6** – Ilustração de raízes de miniestacas de café arábica aos 100 dias após o início do experimento.....31
- Figura 7** – Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função de sacarose.....32
- Figura 8** - Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar.....33
- Figura 9** – Ajuste de regressão para massa seca de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....34
- Figura 10** – Ajuste de regressão para volume de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da sacarose.....39
- Figura 11** – Ajuste de regressão para volume de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....40
- Figura 12** – Ajuste de regressão para área superficial de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da sacarose.....42
- Figura 13** – Ajuste de regressão para área superficial de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....43
- Figura 14** – Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar.....45

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Altura de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com boro na solução de enraizamento.....24
- Tabela 2** - Peso de matéria seca de raízes de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com boro na solução de enraizamento.....34
- Tabela 3** – Desdobramento da interação entre os fatores zinco, sacarose e área foliar específica para a característica de peso de massa seca do sistema radicular de miniestacas de café arábica.....36
- Tabela 4** – Diâmetro médio da brotação de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento.....37
- Tabela 5** – Número de folhas novas em miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento.....37
- Tabela 6** – Volume do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento.....38
- Tabela 7** – Área superficial do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento.....41
- Tabela 8** – Comprimento do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento.....44
- Tabela 9** – Desdobramento da interação entre os fatores zinco, sacarose e área foliar específica para a característica de peso de massa seca do sistema radicular de miniestacas de café arábica.....47

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
2.1	Características da cultura do café.....	13
2.2	Melhoramento genético do cafeeiro .....	14
2.3	Propagação vegetativa do cafeeiro .....	15
2.4	Boro e Zinco no cafeeiro .....	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1	<i>Experimento 1</i> .....	19
3.1.1	Características experimentais .....	19
3.1.2	Características avaliadas .....	20
3.1.3	Delineamento experimental e análises estatísticas.....	20
3.2	<i>Experimento 2</i> .....	21
3.2.1	Características experimentais .....	21
3.2.2	Características avaliadas .....	22
3.2.3	Delineamento experimental e análises estatísticas.....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
5.	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	46
6.	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXO 1 – Tabelas de análise de variância do experimento 1 .....	59
	ANEXO 2 – Tabelas de análise de variância do experimento 2 .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

A concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (C<sub>a</sub>) aumentou aproximadamente em 50% desde os tempos que precederam a revolução industrial, alcançando valores superiores a 400 ppm. No mesmo período, a temperatura média global da superfície aumentou 0,85°C. Até o final deste século, prevê-se que o C<sub>a</sub> aumente para valores por volta de 1000 ppm em paralelo com aumentos de temperatura de até 4,8 °C (IPCC, 2013; 2014). Tais mudanças climáticas também estão previstas para serem acompanhadas por mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos, incluindo ondas de calor crescentes, chuvas torrenciais e episódios prolongados de seca. Portanto, espera-se que as plantas sejam expostas a estresses abióticos em maior intensidade do que nos ambientes em que evoluíram naturalmente ao longo dos anos (IPCC, 2014). Essas condições de estresse representam desafios significativos para a sustentabilidade da produção agrícola em escala global, impactando quantitativa e qualitativamente as culturas cultiváveis em áreas de produção, inclusive na cafeicultura (DAMATTA et al., 2010).

Portanto, diante das mudanças climáticas cada vez mais frequentes, enfrentadas pelos cafeicultores e, ainda considerando o aumento do consumo em quantidade e qualidade de café, novos esforços são necessários por meio dos programas de melhoramento do cafeeiro (CARVALHO, 2008). Assim os estudos que buscam de atender as crescentes necessidades de adaptação das plantas, podem proporcionar a seleção direta ou indireta para as características desejáveis, e reduzir o tempo gasto no lançamento de cultivares agronomicamente superiores.

Na literatura, foram encontrados relatos de estudos nos quais foram observados valores de heterose em *C. arabica* L. Van Der Vossen (1985) mostra evidências consideráveis do vigor híbrido devido ao efeito de genes epistáticos complementares, para rendimento, particularmente em híbridos F1, originados de cruzamentos entre variedades de origens diversas. O presente autor apresenta dados das três primeiras colheitas de variedades e híbridos F1 de café arábica em duas densidades de plantio. Os híbridos F1 produziram até 120% a mais que a média dos progenitores (Laurina x Híbrido de Timor), para a densidade de 3.333 plantas/hectare, e até 109% a mais (SL28 x Rume Sudan), para a densidade de 6.667 plantas/hectare. As melhores produções, no entanto, foram obtidas pelos híbridos “Pandang” x “SL34” (15,4% de heterose) e “Pandang” x “Erecta” (38% de heterose), para a menor e a maior densidade de plantio, respectivamente. Entre as variedades, “Pandang” foi a mais produtiva nas duas densidades estudadas. Já Srinivasan & Vishveshwara (1978) estudaram a heterose para rendimento de grãos em treze cruzamentos entre sete progenitores em *C. arábica* durante seis colheitas. Com relação à média das seis colheitas, cinco cruzamentos apresentaram heterose positiva em

relação à média dos pais, e sete cruzamentos apresentaram heterobeltiose. Os autores encontraram valores de heterose de até 183,3 % em relação à média dos progenitores e de até 100,41 % em relação ao melhor progenitor, no F1 obtido do cruzamento entre Agaro x 2045. Tanto o progenitor Agaro quanto o Choeche, que fez parte do cruzamento que apresentou a segunda melhor heterose, foram diretamente introduzidos da Etiópia. Os híbridos F1 mais heteróticos possuíam, também, excelente estabilidade; com possibilidade de aumento na produção e aquisição de rendimentos estáveis em café arábica

A mini estaquia pode ser considerada uma especialização da estaquia convencional. Basicamente consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo processo de estaquia, ou mudas produzidas por sementes (ALFENAS et al., 2009), dispensando o rejuvenescimento *in vitro* (WENDLING et al., 2000). O interesse na introdução da mini estaquia para diversas espécies se relaciona à redução da área produtiva (adoção do minijardim), diminuição do período de enraizamento e aclimação, e principalmente, na redução de reguladores vegetais para indução do enraizamento (HIGASHI et al. 2000; XAVIER et al., 2003; WENDLING et al., 2005).

O desenvolvimento da técnica teve início na década de 90 para o gênero *Eucalyptus* (HIGASHI et al., 2000), devido às limitações impostas pelo cultivo *in vitro* (WENDLING, 2002; ALMEIDA et al., 2007). Sua aplicação tem possibilitado a propagação de genótipos de difícil enraizamento, com ampliação da porcentagem de miniestacas enraizadas e melhoria do sistema radicular, influenciando diretamente o desempenho de mudas em campo (ALFENAS et al., 2009). Estes aspectos são apontados por Xavier e Santos (2002) como contribuição significativa para ampliação da base silvicultural de espécies nativas com fins econômicos, recuperação de áreas e ecossistemas degradados (CARPANEZZI, 2005), possibilitando também o resgate de genótipos adultos de interesse. Além disso, pode representar uma alternativa para espécies lenhosas cujo processo de estaquia convencional resulta em percentual de enraizamento variável e baixa qualidade na formação de raízes (SOUZA; ALMADO, 2002), como é o caso da espécie *Coffea arabica*.

Diversos estudos foram realizados acerca da propagação vegetativa do café arábica (BERGO; MENDES, 2000; BALIZA et al., 2010; JESUS et al., 2010; REZENDE et al., 2010; REZENDE et al., 2017), proporcionando resultados significativos para a linha de pesquisa e, inclusive para a formulação, desenvolvimento e discussão do presente trabalho. Tendo em vista a escassez de resultados que apontassem para a influência dos micronutrientes boro e zinco, o tamanho de área foliar remanescente e diferentes concentrações de sacarose, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência destes fatores na produção de mudas de *Coffea arabica*

L. pelo método da miniestaquia, de modo a propor ampliação da metodologia já estabelecida e, aperfeiçoar a multiplicação em larga escala não somente híbridos, mas também genótipos superiores em gerações segregantes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Características da cultura do café

O café, uma das bebidas mais populares em todo o mundo, é consumido por cerca de um terço da população mundial e é uma das “commodities” agrícolas mais negociadas globalmente. O comércio mundial de café é baseado em duas espécies, *Coffea arabica* L. (café Arábica) e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (café Robusta ou Conilon), que respondem por cerca de 99% da produção mundial de café. O café é cultivado em aproximadamente 80 países tropicais e constitui a base econômica de muitos desses países. Além disso, estima-se que cerca de 25 milhões de famílias de agricultores em todo o mundo produzam café, sendo a maioria de pequenos produtores e famílias cuja subsistência depende em grande parte dessa cultura (DAMATTA et al., 2018).

O Brasil encontra-se na condição de maior país produtor e exportador de café, que se tornou importante *commoditie* nacional. A produção brasileira em 2022 chegou a 50,38 milhões de sacas beneficiadas, com área plantada de cerca de 2,24 milhões de hectares (CONAB, 2022). A espécie *C. arabica* teve sua origem nas florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, que apresentam altitudes médias entre 1500 e 2800 metros, e precipitação anual variando de 1600 a 2000 mm, com estação seca durando cerca de três a quatro meses que coincidem com o período mais fresco do ano. As temperaturas médias da região, e que são ideais para a espécie estão compreendidas entre 18 °C e 23 °C (CAMARGO, 1985; CAMARGO, 2010). É uma espécie alotetraplóide com  $2n=4x= 44$  cromossomos, autógama, com cerca de 10% de alogamia, susceptível a várias pragas e doenças (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2004).

O cafeeiro é um arbusto de crescimento constante e que apresenta uma característica marcante, que é o dimorfismo de ramos, ou seja, apresenta ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, originados de gemas axilares. Os ramos do cafeeiro têm uma grande especialização, sendo os ramos ortotrópicos responsáveis pelo crescimento vertical, enquanto os plagiotrópicos dão origem aos ramos laterais e às flores e, conseqüentemente, aos frutos (ANDRE, 1973; CARVALHO; MÔNACO; FAZUOLI, 1979).

## 2.2 Melhoramento genético do cafeeiro

Pela importância da cultura do cafeeiro no Brasil, os programas de melhoramento do cafeeiro desenvolvidos no país são imprescindíveis, contribuindo para o aumento da produtividade e desenvolvimento socioeconômico nas regiões de cultivo. Tais programas têm sido desenvolvidos com sucesso para *C. arabica* e *C. canephora* (RESENDE et al., 2001). O melhoramento genético de café no Brasil foi iniciado desde sua introdução em 1727, mas poucas populações foram trabalhadas, apresentando baixa variabilidade genética até meados do século XX.

No início, os plantios se limitavam ao cultivo de *Coffea arabica* var. *Typica*, que apresentava baixa produtividade. Com o objetivo de ampliar as opções de cultivares mais produtivas, o governo brasileiro providenciou a introdução de novos materiais genéticos (REIS; CUNHA, 2010). Em 1859, foi introduzida a cultivar Bourbon Vermelho e, quarenta anos mais tarde, introduziu-se a cultivar Sumatra. A maioria das variedades que surgiram posteriormente foi produto de mutações ou cruzamentos das variedades originais (MÔNACO, 1980).

A segunda fase do melhoramento genético do cafeeiro no Brasil teve início, no começo da década de 1930, iniciando um complexo programa de investigação sobre o cafeeiro (CARVALHO, 1985). A partir dessa época, começou-se a utilizar metodologia científica, nos programas de melhoramento, o que levou a ganhos mais expressivos com a seleção para a produtividade, chegando a um acréscimo de 395% da cultivar Mundo Novo em relação à variedade *Typica* (CARVALHO, 1981; REIS; CUNHA, 2010). O plano de trabalho constituía-se basicamente das atividades: seleção de matrizes de cultivares comerciais de cafeeiros e isolamento de progênies; geração de novos genótipos por meio da hibridação intra e interespecífica; introdução e estudo de novas cultivares comerciais; e pesquisa sobre novos genótipos que ocorrem em plantações como consequência de hibridações e/ou mutações (CARVALHO; FAZUOLI, 1993).

Atualmente, além do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), destacam-se os trabalhos de melhoramento, realizados por várias instituições de pesquisa, como Instituto Agronômico de Paraná (IAPAR), a Fundação Procafé/MAPA, o Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), que juntamente com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) já desenvolveram cultivares com

ótimo potencial produtivo e resistentes à ferrugem e nematóides (PEREIRA et al., 2002; REIS; CUNHA, 2010).

Os trabalhos realizados proporcionaram grandes avanços no melhoramento genético do cafeeiro no Brasil e disponibilizaram aos cafeicultores, cultivares com elevado potencial produtivo, vigor, rusticidade, uniformidade de maturação e resistência à ferrugem, além de outras características de interesse agrônomo e comercial (AGWANDA et al., 2003). Os bancos de germoplasma, implementados no Brasil, para a manutenção e conservação de genótipos, são importantes fontes de busca de genes desejáveis a serem introduzidos em programas de melhoramento genético. Assim, a caracterização dos acessos existentes, em bancos de germoplasma, facilita a identificação desses genes de interesse, de modo a fornecer parâmetros para a escolha de genitores favoráveis à obtenção de populações segregantes em programas de melhoramento genético (COSTA et al., 2006; LOPES et al., 2013).

Atualmente as cultivares brasileiras são altamente produtivas e, levando em consideração a baixa dissimilaridade entre os principais materiais que são utilizados atualmente nos cruzamentos, a possibilidade de ganhos efetivos em produtividade de grãos é bastante reduzida dentro dos programas de melhoramento (FAZUOLI et al., 2002). Além disso, a espécie *Coffea arabica* possui um longo período juvenil e acentuada oscilação anual de produtividade por conta da bienalidade, sendo necessários vários anos para avaliar a capacidade produtiva e a longevidade, para proceder a seleção (SERA, 2001). Portanto, é importante a adoção de técnicas que possibilitem reduzir o tempo gasto para obtenção de novas cultivares, como é o caso do enraizamento de miniestacas.

Com isso, devido ao longo tempo necessário para a obtenção de uma nova cultivar nos métodos tradicionais de melhoramento genético e à possibilidade da exploração do vigor híbrido no caso da estaquia, os estudos para o estabelecimento de uma metodologia para a clonagem em escala comercial de híbridos ou plantas superiores teve seu início há vários anos (INFORZATO, 1950; VILANOVA, 1959). Por meio da propagação vegetativa, é possível manter a constituição genética da planta matriz e assim permitir a exploração de possível heterose, além da multiplicação de “genótipos elites” ainda em segregação, com características superiores, que dificilmente seriam reunidas em uma cultivar propagada sexuadamente (CARVALHO et al., 2011).

### **2.3 Propagação vegetativa do cafeeiro**



A maioria dos genótipos de café arábica recomendados para cultivo atualmente são altamente produtivas, apresentam altura e arquitetura de plantas adequadas e, simultaneamente, são resistentes a uma ou mais doenças. A expressão de todas essas características em uma mesma planta resulta de processos duradouros de melhoramento e seleção que podem até incluir hibridização entre plantas de diferentes níveis de ploidia. Os esforços feitos para atingir esta complexidade e riqueza fenotípica justificam investir na propagação vegetativa de plantas selecionados a partir de progênies heterozigotas de ciclos de reprodução precoces, e para isso técnicas *in vitro* como a embriogênese somática, foram utilizados (REZENDE et al., 2012).

No entanto, o preço estimado para plantas clonadas *in vitro* ainda é considerado alto em comparação com o preço das plantas cultivadas a partir de sementes. Por esta razão, a miniestaquia foi avaliada como um procedimento para reduzir custos na propagação vegetativa de *Coffea arabica* (VOS & SNIJDER 2000; GEORGET et al., 2017).

As plantas de *Coffea canephora* e *C. arabica* produzem ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Os ortotrópicos crescem verticalmente e apresentam diferenciação contínua de gemas axilares, apresentando ramos plagiotrópicos formados de forma oposta. Por sua vez, os ramos reprodutivos (plagiotrópicos) crescem com um hábito inclinado e produzem inflorescências, folhas e, ramos plagiotrópicos de ordens superiores (MOENS, 1968). Neste caso, como os ramos plagiotrópicos não produzem ramos ortotrópicos, os mesmos não podem ser utilizados para a propagação vegetativa, uma vez que dariam origem a plantas com arquitetura anormal.

Portanto, por meio da clonagem é possível a exploração de caracteres de interesse em condição de heterozigose, sendo que dessa forma, o fenótipo irá se manifestar nos descendentes (BERGO; MENDES, 2000; JESUS, 2004; JESUS et al., 2010; REZENDE et al., 2010; REZENDE et al., 2017). Outras vantagens podem ser citadas na formação de mudas por meio de estaquia, como a possibilidade de produzir uma grande quantidade de mudas num pequeno espaço de tempo a partir de poucas plantas matrizes, redução do período de formação da lavoura antecipando o período produtivo por meio da diminuição da juvenilidade das plantas produzidas por estacas e, também maior uniformidade da lavoura formada.

Jesus et al. (2013) testaram a propagação vegetativa de café arábica por meio de enraizamento de estacas associado a aquecimento basal, fornecimento de sacarose e concentrações de hormônio AIB. O AIB favoreceu o enraizamento das estacas, embora na ausência desse regulador, as estacas também tenham manifestado capacidade rizogênica. É possível observar que em relação ao tempo requerido para enraizamento, existe um período que pode ser considerado como referência nas pesquisas que procuram aprimorar a técnica, tempo

este que varia de 90 a 120 dias. Do mesmo modo, pode-se inferir que o auxílio de um regulador de crescimento que induza o enraizamento é necessário.

Sabe-se também, que a composição química do tecido é passível de variação em um mesmo ramo, o que pode causar diferenças no enraizamento de estacas advindas de variadas partes de um ramo (REZENDE et al., 2017). Rezende et al. (2017), observaram que estacas semilenhosas de *C. arabica* que foram retiradas da região mediana dos ramos proporcionaram melhor enraizamento, uma vez que apresentavam tecidos menos lignificados que os tecidos lenhosos da parte inferior. As mudas produzidas por estaquia não apresentam a formação de uma raiz pivotante como acontece naquelas produzidas por sementes, produzindo somente raízes adventícias em grande número, formando um volumoso sistema radicular (DOMINGHETTI et al., 2016). Tem sido observado que a formação de raízes adventícias se deve à interação de fatores existentes nos tecidos e da translocação de substâncias sintetizadas nas folhas e gemas em desenvolvimento. Entre estes fatores, os fito-hormônios, nutrientes minerais e auxinas sintéticas são de fundamental importância (WANG & ANDERSEN, 1989; HENRY et al., 1992; FACHINELLO et al., 1994).

Um dos entraves na propagação vegetativa do cafeeiro está relacionado a variação das respostas das diferentes cultivares em relação aos fatores que influenciam no enraizamento, dificultando o estabelecimento de um protocolo de propagação. O uso de reguladores de crescimento, principalmente auxinas, tem sido eficaz no enraizamento de estacas, fazendo com que haja formação das raízes, acelerando o processo e garantindo o pegamento, qualidade e uniformidade no enraizamento (CARVALHO et al., 2008).

Uma boa condução no processo de obtenção das mudas por meio desse método pode ser determinante na implantação da lavoura. Assim, todos os benefícios citados, somente serão observados se existir um criterioso cuidado em cada passo, desde a seleção da planta matriz, passando pela retirada das estacas, sua instalação no tubete, sua passagem para o saco de polietileno, onde o substrato deverá apresentar características satisfatórias, e finalmente o transplante para o campo. A partir daí novos procedimentos e decisões técnicas cuidadosamente realizadas possibilitarão uma lavoura vigorosa e produtiva.

#### **2.4 Boro e Zinco no cafeeiro**

O zinco é um micronutriente importante para a nutrição adequada do cafeeiro, podendo sua deficiência afetar direta ou indiretamente o metabolismo, provocando redução de internódios, folhas pequenas e estreitas, morte de gemas apicais, menor vingamento floral, seca

de ponteiros, folhas mais novas coriáceas e quebradiças, frutos menores, queda prematura dos frutos e, conseqüentemente, redução na produtividade da lavoura (MALAVOLTA, HAAG E JOHNSON, 1961).

O boro é um micronutriente importante para o crescimento de raízes adventícias e é essencial nas fases de indução e desenvolvimento de primórdios radiculares e crescimento posterior (CUNHA et al., 2009). É considerado um co-fator de enraizamento devido ao seu papel no processo rizogênico juntamente com auxina, facilitando o transporte entre as membranas, bem como sua integridade (HERRERA et al., 2004).

Segundo Malavolta (1976), a absorção de rádio-zinco ( $Zn^{65}$ ) em cafeeiro jovem foi de 2,8 a 4 vezes mais eficiente via foliar do que a absorção radicular, principalmente em solos argilosos. Pereira, Matiello e Miguel (1975) também relataram que o modo mais fácil e rápido de corrigir a deficiência de zinco é por meio da adubação foliar com  $ZnSO_4$ . Porém, Rossi et al. (2019) concluíram que as fontes de zinco convencionais possuem uma baixa penetração foliar pela planta do café, sendo necessária a utilização de fontes nanoparticuladas ou quelatizadas, mostrando a importância do suprimento via sistema radicular.

Kersten (1990) trabalhando com ameixeiras, cultivares Grancuore e Carmesin, avaliando a influência de zinco e boro sobre as características de crescimento dessas cultivares, não encontrou efeito significativo do zinco sobre a propagação vegetativa das ameixeiras. Entretanto, para o micronutriente boro, foi encontrada resposta significativa sobre o enraizamento.

Segundo Leite e Mendes (1995) sulfato de zinco na concentração 0,3% aumenta a porcentagem de pegamento das estacas de *C. arabica* L. de 63 para 90%. Por outro lado, Bergo (1997) afirma que o sulfato de zinco não foi eficiente na promoção do enraizamento de estacas do cafeeiro. De lá para cá se avançou muito na sobrevivência das estacas de café arábica, atingindo valores médios de 90%, dependendo da cultivar. Quanto ao B, tem-se observado que, na sua deficiência, aparecem vários distúrbios prejudiciais ao desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, como morte dos ápices das raízes e tecidos do câmbio (MENGEL & KIRKBY, 1979). Middleton et al. (1978) sugerem que a iniciação de raízes nas estacas é estimulada pela auxina, devendo-se o posterior crescimento ao B. Henry et al. (1992) observaram correlação significativa entre níveis de B e potássio encontrados nas estacas de *Juniperus virginiana* L. e a resposta ao enraizamento.

Trabalhando com estacas de café (*Coffea arabica* L. cv Mundo Novo), Ono, Rodrigues e Pinho (1992; 1993; 1994) observaram maior porcentagem de enraizamento naquelas tratadas com NAA a 100 ou 200  $mg.L^{-1}$  mais boro a 150  $ug.ml^{-1}$ . Também em estacas de café, Ono,

Rodrigues e Pinho (1994) obtiveram enraizamento satisfatório quando estas foram tratadas com IBA + NAA a  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  + boro a  $150 \text{ ug.ml}^{-1}$ .

Em 1951, Hemberg verificou o efeito de vários íons sobre o enraizamento de estacas de *Phaseolus vulgaris* L., demonstrando que o boro, fornecido como ácido bórico, aumentou a produção de raízes, enquanto estacas sem tratamento com boro não apresentaram raízes. O autor relata que muitas vezes o fornecimento de boro pode ocorrer pela simples presença do elemento com o contaminante da água, justificando a utilização do B em solução de enraizamento.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Experimento I

##### 3.1.1 Características experimentais

O experimento foi realizado no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, de outubro de 2018 a abril de 2020.

Em outubro de 2018, uma lavoura de *Coffea arabica* cv. Mundo Novo recém recepada foi selecionada e as estacas das plantas matrizes mais vigorosas foram colhidas e colocadas para enraizar em casa de vegetação em tubetes de  $120 \text{ cm}^3$  conforme a metodologia utilizada em Rezende et al. (2017) de modo a formar um minijardim clonal para a utilização de miniestacas no presente experimento.

Em outubro de 2019, as miniestacas foram então selecionadas e coletadas, da região mediana (REZENDE et al., 2017) das mudas previamente enraizadas e, padronizadas com  $4 \pm 1$  cm de comprimento, passando por um tratamento de desinfestação com uma solução contendo hipoclorito de sódio a 0,1% durante 10 minutos e lavadas em água corrente posteriormente. Após este processo, o par de folhas das miniestacas foram então reduzidos em 25, 50 e 75% (dependendo do tratamento) de modo a reduzir as taxas transpiratórias. Após todo esse procedimento as miniestacas foram então imersas em uma solução (50% álcool etílico) contendo AIB na concentração de  $4.000 \text{ mg L}^{-1}$  (REZENDE et al., 2017). Juntamente, foi adicionado à solução, ácido bórico para o tratamento proposto para possível melhoria do processo de enraizamento, na concentração de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . A região basal das miniestacas ficou imersa nesta solução por 10 minutos sendo acondicionadas posteriormente em tubetes de  $120 \text{ cm}^3$  e em casa de vegetação com temperatura ( $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e umidade (90%) controladas para enraizamento.

O substrato utilizado nos tubetes foi o de uma proporção de 1:1 de areia e vermiculita de textura fina, com a adição do adubo de liberação controlada Osmocote Plus® com as

seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K<sub>2</sub>O; 12% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de 12,5 g L<sup>-1</sup> (REZENDE et al., 2017). Quando convenientes ao tratamento imposto, aplicações de solução com sacarose foram aplicadas em um intervalo de 20 dias entre pulverizações nas concentrações de 10 e 20%.

### 3.1.2 Características avaliadas

Após 140 dias da implantação do experimento, foi realizada a avaliação do mesmo e a mensuração das seguintes características:

- Altura de mudas (cm): medida com régua da base da maior brotação ao ápice da mesma;
- Diâmetro médio de brotos (cm): diâmetro da brotação, medido com paquímetro digital;
- Número total de folhas;
- Comprimento de raízes: medido com régua; a raiz secundária mais comprida foi considerada;
- Área e volume de raízes: programa *Rhizo Vision* (SEETHEPALLI & YORK, 2020);
- Peso da matéria seca de sistema radicular e parte aérea: após a finalização do experimento, as raízes, ramos e folhas foram seccionados e separados em sacos de papel kraft e acondicionados em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem peso constante;

### 3.1.3 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial triplo 2x3x3, com a presença ou não de boro no enraizamento, com folhas reduzidas em 25, 50 e 75% e fornecimento de sacarose (0, 10 e 20%) de forma exógena, a cada 20 dias, durante o período do experimento, totalizando 18 tratamentos, dispostos em quatro repetições e quatro plantas por parcela experimental, totalizando 288 miniestacas.

Foi realizada a análise de variância, e os efeitos das fontes de variação foram testados por meio do teste F, a 5% de probabilidade. Para o estudo das médias, quando verificada a significância, realizou-se o agrupamento por meio do teste Scott-Knott para as características

que apresentaram influência da interação tripla e/ou para o fator qualitativo, para os fatores quantitativos, realizou-se o ajuste de regressão. Todos os procedimentos para a realização das análises foram feitos por meio do *software* R (R CORE TEAM, 2022).

## **3.2 Experimento 2**

### **3.2.1 Características experimentais**

O experimento foi realizado no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, de outubro de 2018 a maio de 2020.

Em outubro de 2018, uma lavoura de *Coffea arabica* cv. Mundo Novo recém recepada foi selecionada e as estacas das plantas matrizes mais vigorosas foram colhidas e colocadas para enraizar em tubetes de 120 cm<sup>3</sup> conforme a metodologia utilizada em Rezende et al. (2017) de modo a formar um minijardim clonal para a utilização de miniestacas no presente experimento.

Em outubro de 2019, as miniestacas foram então selecionadas e coletadas, da região mediana das mudas previamente enraizadas e, padronizadas com  $4 \pm 1$  cm de comprimento, passando por um tratamento de desinfestação com uma solução contendo hipoclorito de sódio a 0,1% durante 10 minutos e lavadas em água corrente posteriormente. Após este processo, o par de folhas das miniestacas foram então reduzidos em 25, 50 ou 75% (dependendo do tratamento) de modo a reduzir as taxas transpiratórias. Após todo esse procedimento as miniestacas foram então imersas em uma solução (50% álcool etílico) contendo AIB na concentração de 4.000 mg L<sup>-1</sup>(REZENDE et al., 2017). Juntamente, foi adicionado à solução, sulfato de zinco para o tratamento em que necessitávamos constatar a influência do micronutriente no enraizamento, concentração de 20 mg L<sup>-1</sup>. A região basal das miniestacas ficaram imersas nesta solução por 10 minutos sendo acondicionadas posteriormente em tubetes de 120 cm<sup>3</sup> e em casa de vegetação com temperatura (26 °C) e umidade (90%) controlados para enraizamento.

O substrato utilizado no tubete foi o de uma proporção de 1:1 de areia e vermiculita de textura fina, com a adição do adubo de liberação controlada Osmocote Plus® com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K<sub>2</sub>O; 12% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de 12,5 g L<sup>-1</sup> (REZENDE et al., 2017). Quando convenientes ao tratamento imposto, aplicações de solução com sacarose foram aplicadas em um intervalo de 20 dias entre pulverizações nas concentrações de 10 e 20%.

### 3.2.2 Características avaliadas

Após 140 dias da implantação do experimento, foi realizada a avaliação do mesmo e a mensuração das seguintes características:

- Altura de mudas (cm): medida com régua da base da maior brotação ao ápice da mesma;
- Diâmetro médio de brotos (cm): diâmetro da brotação, medido com paquímetro digital;
- Número total de folhas;
- Comprimento de raízes: medido com régua; a raiz secundária mais comprida foi considerada;
- Área e volume de raízes: programa *Rhizo Vision* (SEETHEPALLI & YORK, 2020);
- Peso da matéria seca de sistema radicular e parte aérea: após a finalização do experimento, as raízes, ramos e folhas foram seccionados e separados em sacos de papel kraft e acondicionados em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem peso constante;

### 3.2.3 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial triplo 2x3x3, com a presença ou não de zinco no enraizamento, com folhas reduzidas em 25, 50 e 75% e fornecimento de sacarose (0, 10 e 20%) de forma exógena, a cada 20 dias, durante o período do experimento, totalizando 18 tratamentos, dispostos em quatro repetições e quatro plantas por parcela experimental, totalizando 288 miniestacas.

Foi realizada a análise de variância, e os efeitos das fontes de variação foram testados por meio do teste F, a 5% de probabilidade. Para o estudo das médias, quando verificada a significância, realizou-se o agrupamento por meio do teste Scott-Knott para as características que apresentaram influência da interação tripla e/ou para o fator qualitativo, para os fatores quantitativos, realizou-se o ajuste de regressão. Todos os procedimentos para a realização das análises foram feitos por meio do *software* R (R CORE TEAM, 2022).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### *Experimento 1*

Os pressupostos da análise de variância foram atendidos para todos os caracteres, não havendo assim a necessidade de se transformar os dados obtidos. Sendo assim, foram realizadas as análises de variância a 5% de probabilidade e, os coeficientes de variação apresentaram um intervalo de 4,41 a 12,88%, mostrando boa eficácia experimental. As tabelas de análise de variância referentes aos dois experimentos que serviram para a elaboração deste trabalho encontram-se no Anexo.

Para a característica de altura de plantas, a análise de variância foi significativa para o efeito isolado da aplicação de boro e, para a interação entre área foliar x sacarose. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados para a altura de plantas referente ao efeito isolado de B na solução de enraizamento.

**Tabela 1** - Altura de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com boro na solução de enraizamento

TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM BORO	7,93 A
SEM BORO	7,74 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

As miniestacas quando tratadas com boro na solução com AIB apresentaram um maior crescimento de parte aérea. Castro, Santos e Stipp (2012) relatam que o boro forma reações com açúcares para formar um complexo borato-açúcar ionizável, capaz de passar pelas membranas celulares mais rapidamente do que moléculas de açúcar não ionizadas, sem o borato, sendo translocado com maior agilidade para células de crescimento, neste caso as raízes em desenvolvimento. Portanto, a adição de boro à solução de enraizamento juntamente com o



AIB proporcionou uma resposta mais ágil em questão de desenvolvimento para as miniestacas, quando analisada a altura de plantas.

Além do efeito isolado de boro, ainda se verificou significância na interação entre área foliar x sacarose. Para isso, o desdobramento da interação entre os fatores foi feito por meio do ajuste equações de regressão linear.

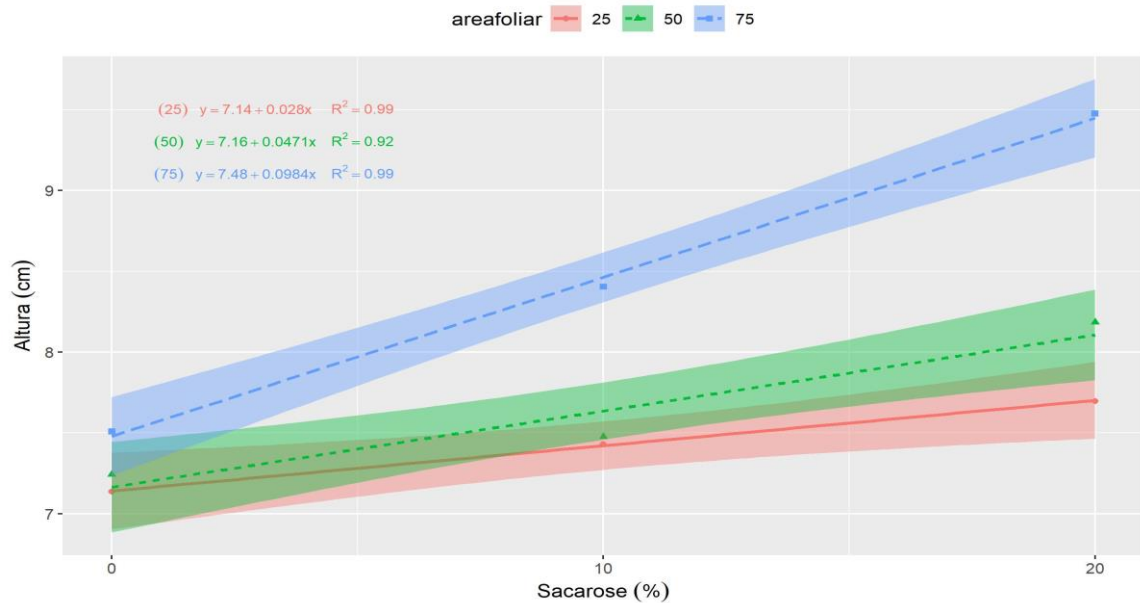
Observa-se na Figura 1, que os modelos matemáticos se mostram adequados para explicar a variação observada na altura de brotos das miniestacas em função da aplicação e sacarose e área foliar, visto que apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 90%. Nota-se que os tratamentos não foram estatisticamente distintos quando na ausência da aplicação de sacarose, por conta da sobreposição do intervalo de confiança dos modelos.

Porém, a partir da inclusão de sacarose, as miniestacas com maior área foliar (75%) foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos em questão, com um ganho médio de altura na ordem de 0,0984 cm para cada 1% de sacarose que se aumentava na calda de aplicação, enquanto que ao nível de 50 e 25% de área foliar o incremento em altura foi de 0,0471 e 0,028 cm respectivamente.

Esses resultados divergem dos encontrados por Fernandes, Martinez e Costa (2015), os quais não observaram influência positiva na utilização de sacarose no enraizamento de *Tectona grandis*, porém alguns estudos já demonstraram a eficiência da aplicação de sacarose na influência positiva da fisiologia interna da planta de café (SILVA et al., 2003; ALECRIM et al., 2019).

Isso pode ser explicado pelo possível baixo teor de açúcar das estacas no momento da coleta, justificando a resposta à aplicação de sacarose. Outro fator importante a ser levado em consideração é que um maior percentual de área foliar permitiu que as miniestacas tivessem a capacidade de interceptar uma maior quantidade da calda de pulverização, porém somente para as miniestacas com 75% de área foliar, uma vez que os tratamentos de 50 e 25% não diferiram estatisticamente.

**Figura 1 - Ajuste de regressão para altura de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar e sacarose**

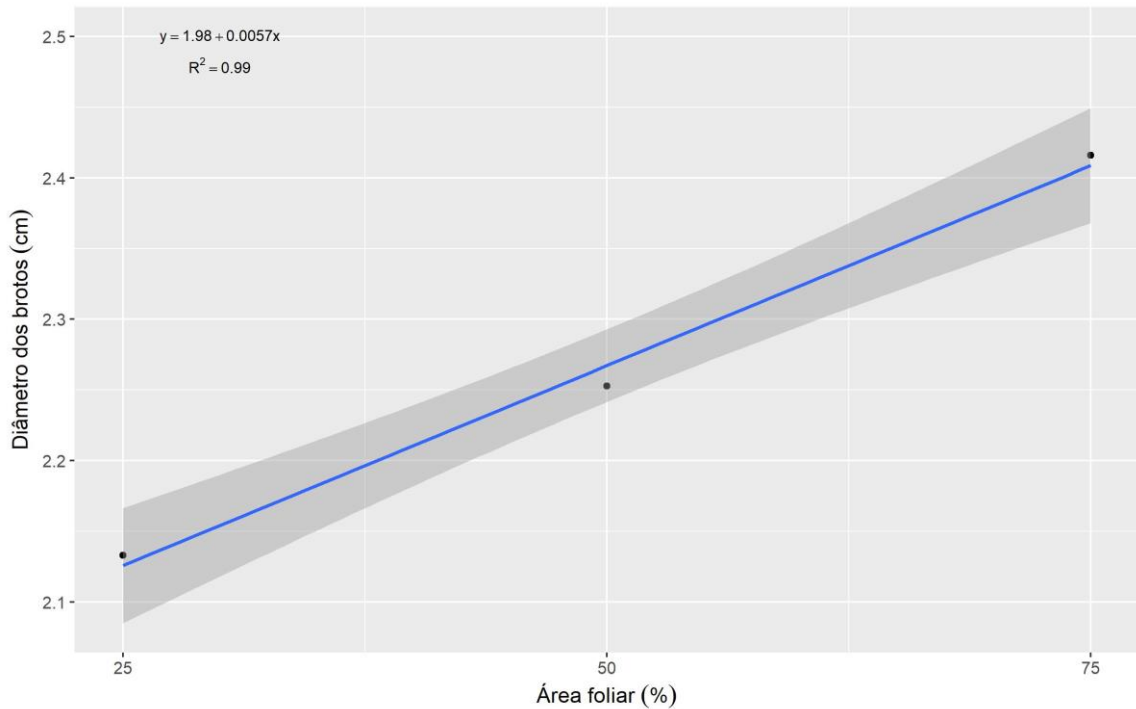


Fonte: do Autor (2022).

Para a característica de diâmetro médio da brotação tanto os fatores isolados de boro e de sacarose, quanto as interações entre os fatores não foram significativas. Porém, analisando os resultados para o percentual de área foliar remanescente nota-se um aumento progressivo no diâmetro médio da brotação das miniestacas. Com a equação ajustada, observa-se que a cada 1% de área foliar remanescente a mais presente em cada planta, ocasiona em um aumento de 0,0057 cm de diâmetro médio de cada brotação.

Isso reafirma os dados expostos acima para a característica de altura de plantas, portanto as plantas que mais cresceram em altura também apresentaram maiores diâmetros médios da brotação, indicando que miniestacas enraizadas com maior percentual de área foliar remanescente tendem a um melhor crescimento e desenvolvimento vegetativo. Isso pode se dever ao fato de que miniestacas com menor área foliar remanescente possuíam menor capacidade fotossintética, proporcionando uma menor capacidade de produzir fotoassimilados para o desenvolvimento vegetativo (FRANÇA et al., 2014). Também é importante salientar que, de acordo com Almeida et al. (2005), mudas com maior diâmetro e massa caulinar possuem maior chance de sobrevivência após o plantio.

**Figura 2 – Ajuste de regressão para o diâmetro médio da brotação de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**



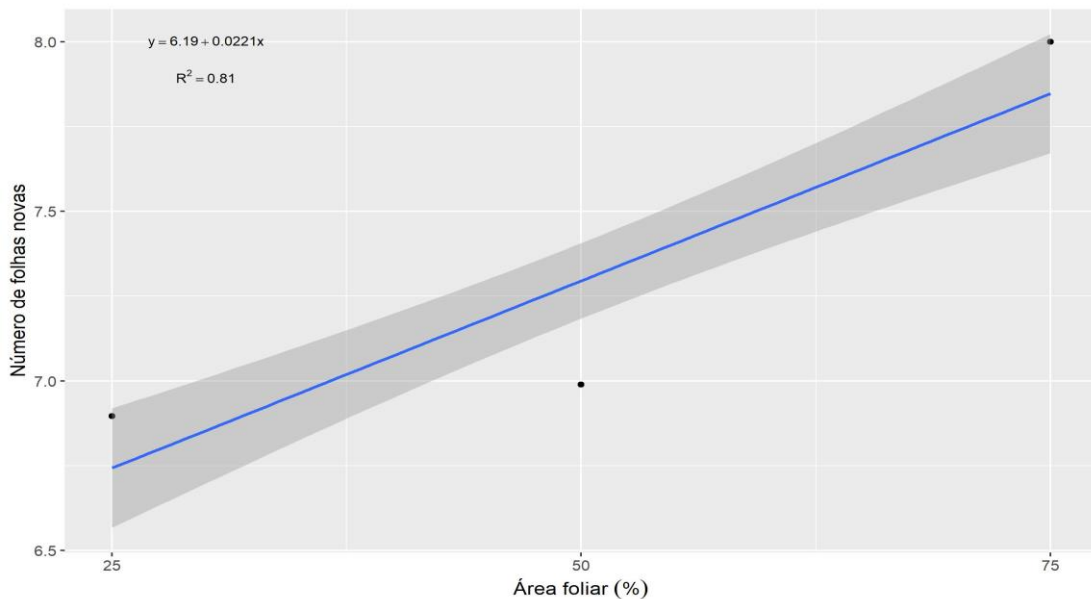
Fonte: do Autor (2022).

Análogo aos resultados de diâmetro médio da brotação, para resultados obtidos para o número de folhas novas, ou seja, as folhas produzidas após a instalação do experimento, também não foram observadas diferenças estatísticas para os fatores boro, sacarose e para as interações entre os fatores. Com isso, o modelo de regressão linear foi ajustado somente para a influência da área foliar das miniestacas (Figura 3).

Observa-se, novamente, que o aumento do percentual de área foliar remanescente das plantas ocorre um aumento na produção de folhas novas, na ordem de 0,0221 para 1% aumentado. Apesar do coeficiente de determinação apresentar um valor menor aos já expostos (81%), ele explica bem o ajuste do modelo e corrobora com a máxima de que as miniestacas com maior aparato fotossintético foram as que mais se beneficiaram em crescimento vegetativo de parte aérea, pois um adequado enfolhamento pode garantir maior superfície de absorção luminosa, resultando em ganho de fixação de carbono pelas mudas, ou seja, maior capacidade de produzir e armazenar fotoassimilados (TAIZ et al., 2017).

O aumento do número de folhas novas pode estar relacionado com o aumento do diâmetro médio da brotação, uma vez que este decorre de um estímulo da atividade cambial (TAIZ et al., 2017), que pode ser responsável por outros efeitos benéficos, tal como a aceleração do crescimento vertical (figura 1), do enfolhamento e do desenvolvimento radicular das mudas.

**Figura 3 – Ajuste de regressão para número de folhas novas de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**

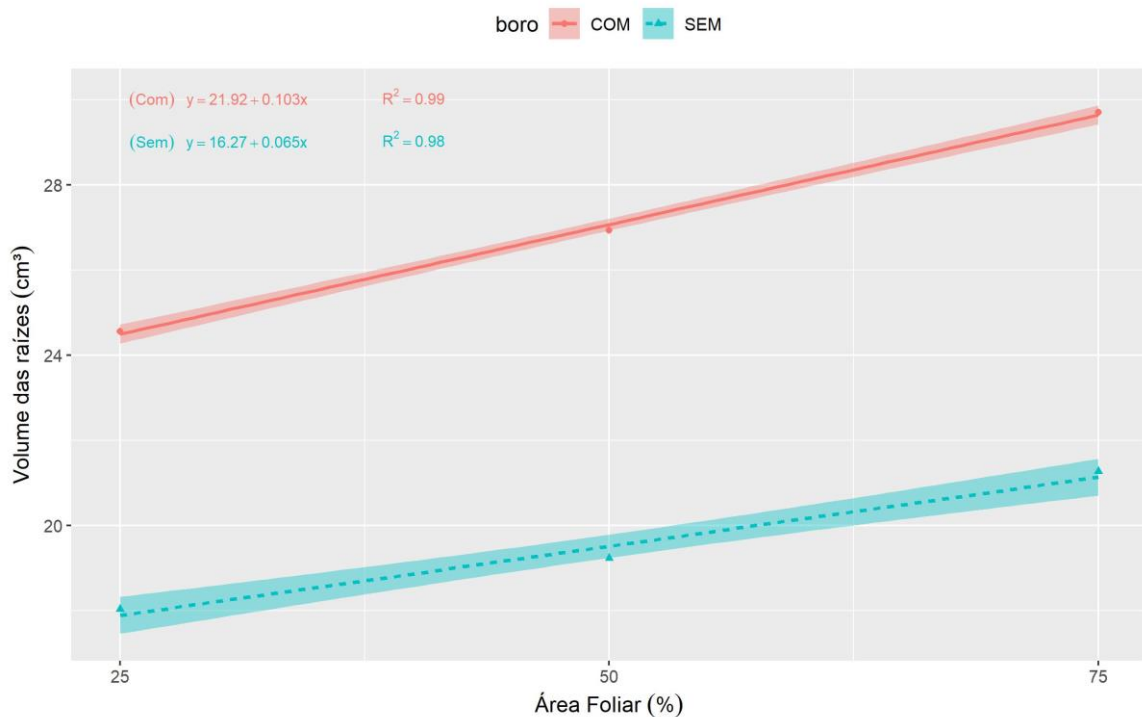


Fonte: do Autor (2022).

Passando para as características do sistema radicular, na Figura 4 estão representados os resultados para a interação entre boro x área foliar para o volume radicular das miniestacas (Figura 4). Observando os modelos ajustados nota-se que as plantas tratadas com boro foram superiores estatisticamente do que as não tratadas conforme aumenta-se o tamanho de área foliar remanescente, com um acréscimo de volume radicular na ordem de  $0,103 \text{ cm}^3$  a mais por percentual de área foliar. Este valor representa um aumento médio de quase 37% em produção de raízes.

A relação entre a manutenção de folhas e o enraizamento pode ser confirmada por Van Overbeek et al. (1946), uma vez que as folhas são fonte de auxinas e nutrientes para a formação de raízes nas estacas. Da mesma forma, Wilkins et al. (1995) acrescentam que a prevenção da morte das folhas pode aumentar significativamente o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular. No trabalho de Villordon e Gregorie (2021), os autores reiteram hipóteses que evidenciam que o crescimento radicular é muito mais sensível à “deficiência” de boro que o crescimento de parte aérea, fato isso evidenciado na figura abaixo.

**Figura 4 – Ajuste de regressão para o volume de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar**



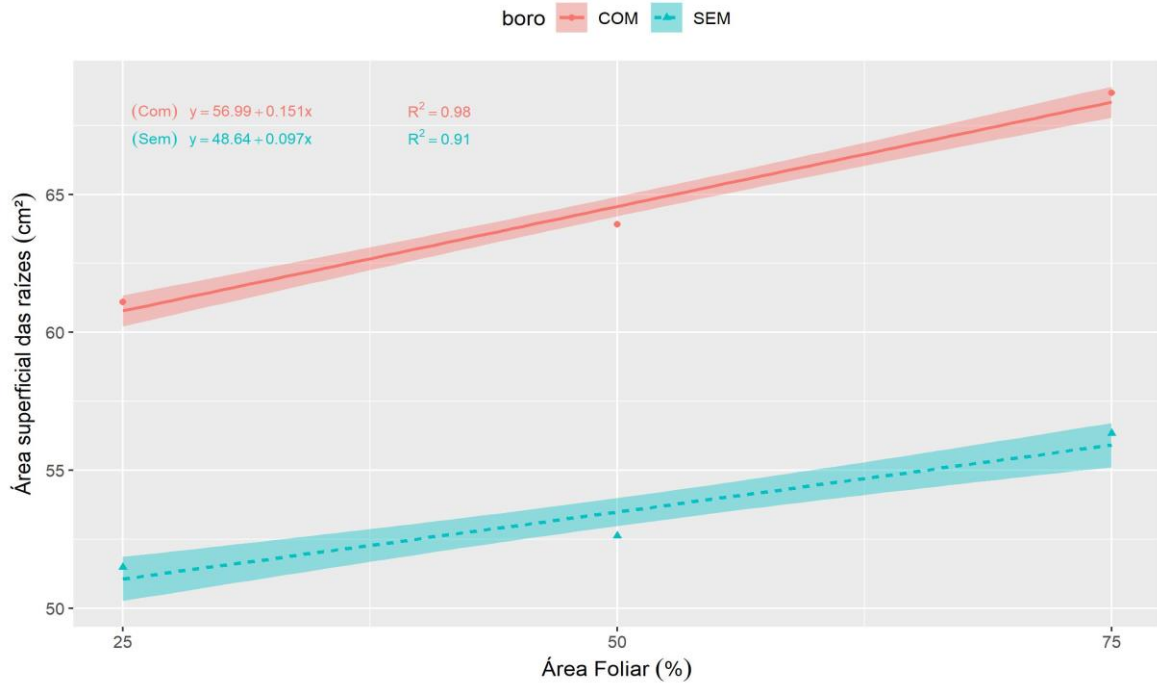
Fonte: do Autor (2022).

Seguindo o mesmo padrão da característica do volume radicular, os resultados para a área superficial das raízes das miniestacas também apresentaram significância estatística para a interação entre boro x área foliar.

Em Trautmann et al. (2014), os autores evidenciaram que diferentes doses e fontes de boro aplicadas foram positivamente significativas no volume e peso de matéria seca radicular em plantas de soja. Souza e Roman (2018) relatam que a deficiência de boro inibe o crescimento radicular, impedindo que a planta explore um maior perfil de solo e acesse mais água e nutrientes.

Na figura abaixo observa-se que para os tratamentos com boro na solução com AIB, para cada 1% de área foliar remanescente a mais, a área superficial das raízes acresce em 0,151 cm<sup>2</sup> enquanto que as sem boro crescem na ordem de 0,097 cm<sup>2</sup>, ou seja, um acréscimo de 35%. De acordo com Bakker et al. (2006), a densidade e a distribuição de raízes profundas podem ser influenciadas pela disponibilidade de nutrientes do solo. Porém, uma vez que todos os tratamentos receberam o mesmo nível de adubação com fertilizante de liberação controlada, pode-se inferir que as diferenças estatísticas advêm dos diferentes tratamentos impostos.

**Figura 5 – Ajuste de regressão para a área superficial de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar**



Fonte: do Autor (2022).

As mudas produzidas por propagação vegetativa não apresentam a formação de uma raiz pivotante como acontece naquelas produzidas por sementes. Portanto, em vez de produzir uma única raiz pivotante, a muda por estaca produz várias raízes de suporte (Figura 6), que darão origem às raízes absorventes. Portanto, para a caracterização do comprimento de raiz das miniestacas produzidas no presente experimento, foram medidas somente a maior raiz produzida por cada miniestaca.

**Figura 6 – Ilustração de raízes de miniestacas de café arábica aos 100 dias após o início do experimento**



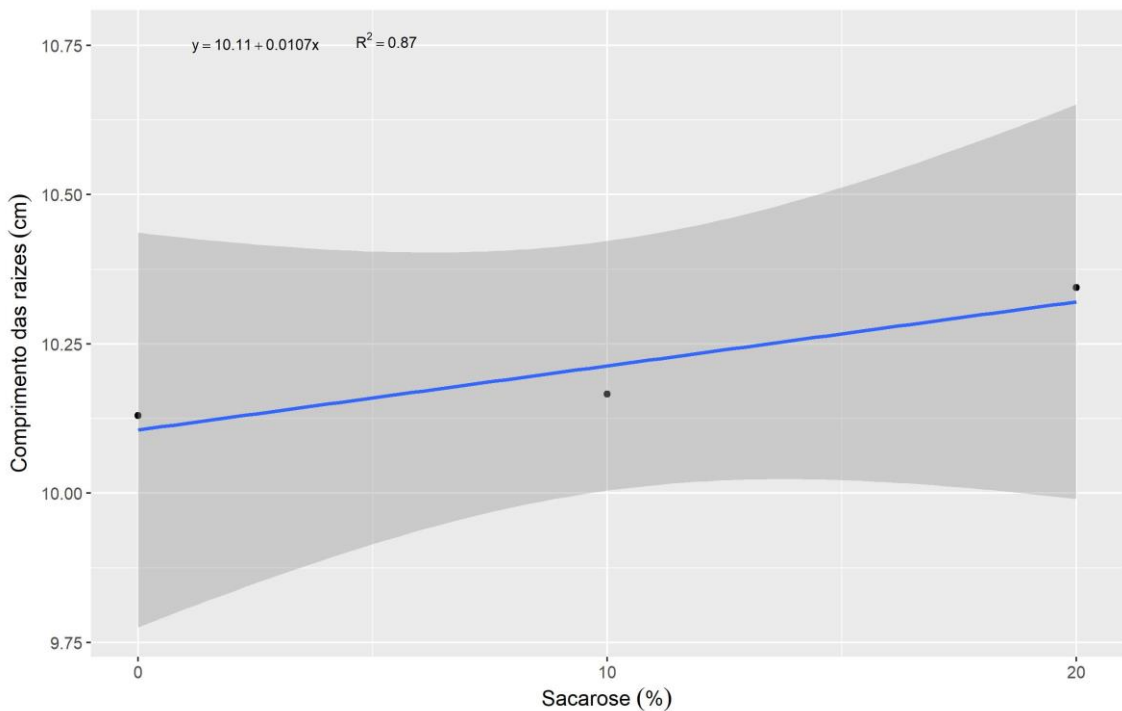
Fonte:  
do  
Autor  
(2022)

Para a característica de comprimento radicular, observou-se a diferenças estatísticas significativas para o efeito simples de sacarose (Figura 7) e para a interação entre boro x área foliar (Figura 8).

Diante do modelo linear apresentado, nota-se que o aumento gradativo no percentual de sacarose na calda de pulverização ocasiona um aumento no crescimento radicular na ordem de 0,0107 cm para cada 1%. Diante disso, é possível afirmar que estatisticamente, as miniestacas tratadas com 20% de sacarose na calda de pulverização apresentaram um acréscimo médio de crescimento radicular de 0,214 cm em relação às sem aplicação.

A aplicação de sacarose parte da premissa de que a única forma de aquisição do carbono pelas plantas é a via fotossintética e, como esse processo é facilmente afetado por condições edafoclimáticas adversas, muitos estudos apontam que o fornecimento exógeno de carboidratos, via aplicação de sacarose ou até melaço, possa suprir eficientemente esse elemento na planta (MANGINI et al., 1998; SANTINATO; FERNANDES; PEREIRA, 1998; SILVA et al., 2003).

**Figura 7 – Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função de sacarose**



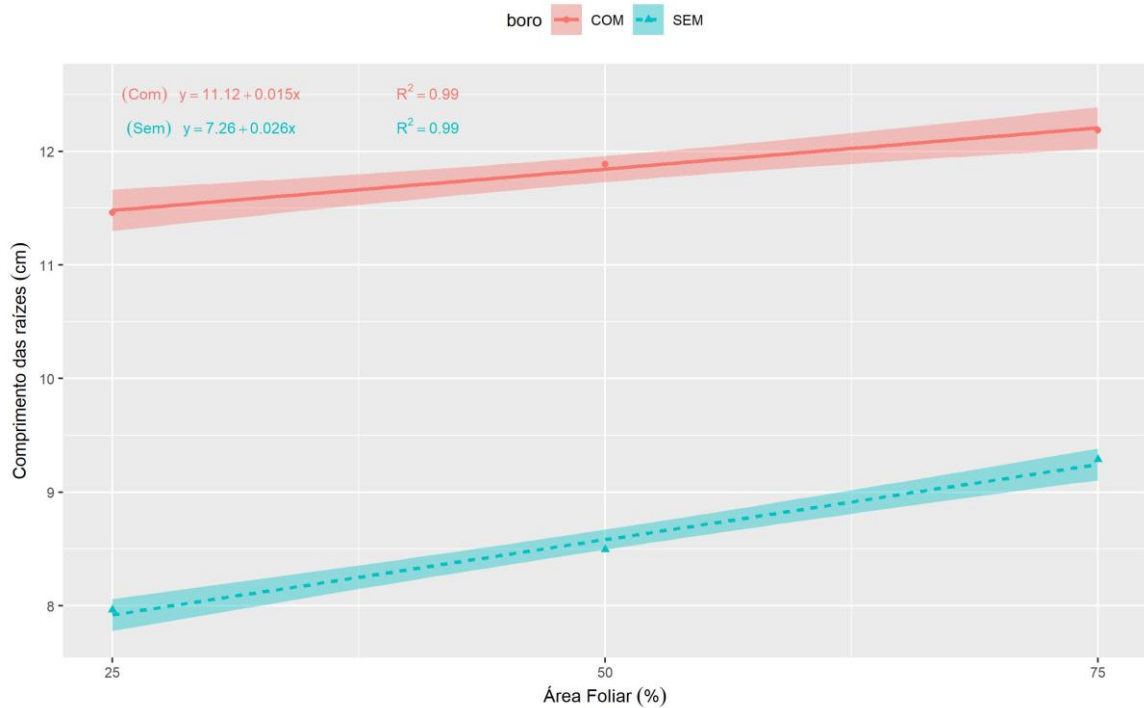
Fonte: do Autor (2022)

Analisando o desdobramento da interação entre boro x área foliar (Figura 8) para o crescimento radicular, observa-se que a presença de boro foi eficiente no desenvolvimento do sistema radicular. Reguera et al. (2009), observaram uma reduzida diferenciação celular em nódulos radiculares de *Medicago sativa* quando estas foram privadas de boro, indicando que o B desempenha funções importantes na organogênese radicular. Esses resultados corroboram com Ono et al. (1993), que obtiveram maior crescimento de raízes com a associação de B com NAA (ácido naftaleo-acético), que é uma auxina como o AIB (ácido indol-butírico).

Segundo Gauch & Dugger (1954), as folhas de plantas deficientes em B apresentam, comparativamente, maiores concentrações de açúcares, contudo a concentração nos ramos é baixa, indicando que o teor de B influencia a translocação dos fotoassimilados. Portanto, um nível adequado de B nas estacas aumentaria a disponibilidade de carboidratos aos tecidos meristemáticos, possibilitando maior crescimento das raízes.

**Figura 8 – Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função do boro e área foliar**





Fonte: do Autor (2022)

Para a característica de peso de massa seca de raízes, diferentemente dos outros atributos do sistema radicular, não foram observadas diferenças estatísticas para as interações entre fatores. Apresentados abaixo encontram-se os resultados de efeito simples de boro (Tabela 2) e área foliar remanescente (Figura 9).

Para o efeito de boro, observa-se que as miniestacas com a presença de B na solução com AIB apresentaram um maior acúmulo de massa seca quando comparadas com as plantas sem tratamento. Jarvis, Ali e Shaheed (1983) verificaram que poucas raízes se desenvolvem nas estacas tratadas só com boro, levando-os a concluir que as raízes obtidas no estudo tenham se desenvolvido devido à concentração de auxina endógena, responsáveis pelo início da formação das raízes, enquanto o boro age sobre o crescimento dessas. Assim, era de se esperar efeito positivo do B no comprimento das raízes primárias e, ainda, na produção de matéria seca, como observou Kersten (1990).

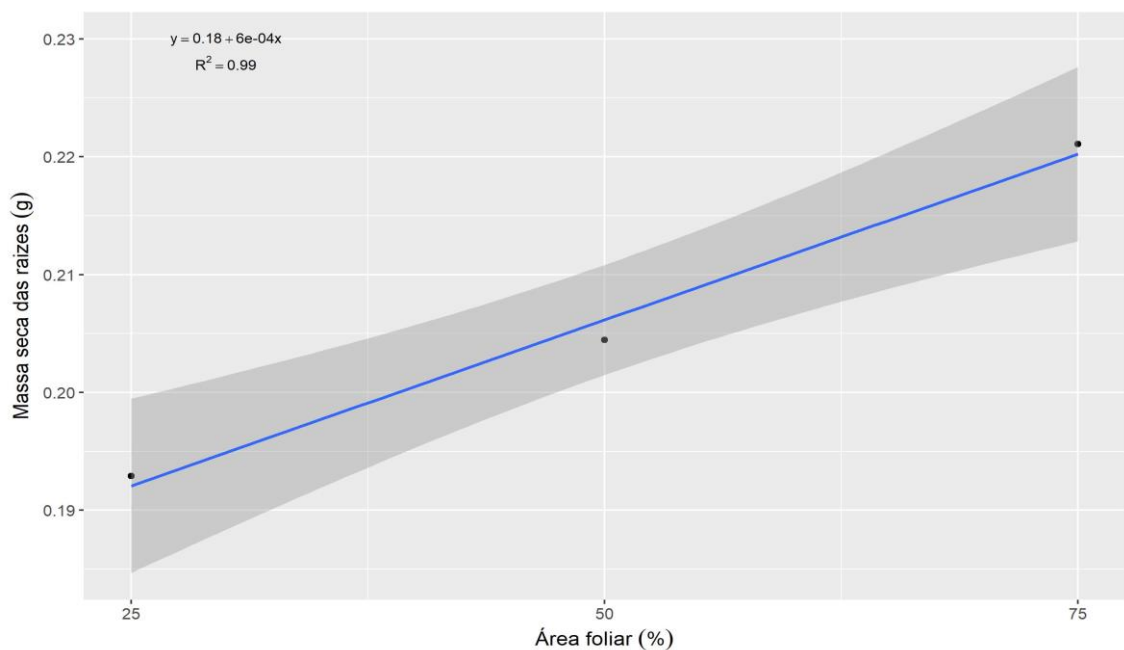
**Tabela 2 - Peso de matéria seca de raízes de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com boro na solução de enraizamento**

TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM BORO	0,243 A
SEM BORO	0,168 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

Para o efeito simples de área foliar, o peso de massa seca das raízes apresentou um comportamento crescente conforme aumenta-se a área foliar remanescente nas miniestacas. A produção de matéria seca permite avaliar o crescimento de uma planta e seu percentual acumulado pelas plantas é diretamente proporcional à fotossintética líquida, somada à quantidade de nutrientes minerais absorvido (TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2010). Com isso presume-se que, da mesma forma que foi observado com os outros atributos de parte aérea, um maior percentual de área foliar remanescente permitiu que as mudas estivessem providas de um maior aparato fotossintético, aumentando a produção de fotoassimilados e reduzindo a competição entre os órgãos em crescimento.

**Figura 9 – Ajuste de regressão para massa seca de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**



Fonte: do Autor (2022)

### *Experimento 2*

Analisando o experimento 2, após serem feitos os testes dos pressupostos da análise de variância e, não havendo a necessidade de transformação dos dados, procedeu-se ao teste F de para atestar a significância dos fatores estudados. Os coeficientes de variação foram de 3,44 a 15,97% indicando boa eficácia experimental.

Analisando a característica de altura de plantas, os dados apresentaram diferenças estatísticas para a interação tripla (Tabela 3) entre os fatores, não sendo então necessária a apresentação dos efeitos simples. Entre os tratamentos submetidos à inclusão de zinco na solução de enraizamento, somente as plantas ao nível de 0% de sacarose diferiram estatisticamente, com a formação de três grupos distintos e um padrão de crescente conforme aumenta-se o percentual de área foliar. Isso pode se dever ao fato de que uma maior área foliar permitiu que as plantas suprissem a necessidade de fotoassimilados sem aplicação de sacarose exógena, enquanto as plantas submetidas a reduções foliares mais drásticas, apresentaram uma redução no crescimento vertical.

Comparando os diferentes tratamentos, com ou sem zinco, observa-se que, independentemente da aplicação de sacarose e do percentual de área foliar, as miniestacas tratadas com zinco na solução com AIB foram sempre estatisticamente superiores às plantas sem o referido tratamento. Estes resultados são diferentes dos encontrados por Nicoloso, Lazzari e Fortunato (1999), em que o condicionamento com zinco não alterou significativamente nenhuma característica de crescimento vegetativo de estacas de plátano híbrido.

O Zn é requerido na síntese do triptofano, um precursor do ácido indol-acético, que é um fitohormônio envolvido na formação de raízes adventícias e crescimento de tecidos meristemáticos (MENGEL & KIRKBY, 1979; BLAKESLEY; WESTON; HALL, 1991). Apesar de sua comprovada essencialidade em outros processos metabólicos das plantas, pouca atenção até o presente momento, foi dispensada ao seu possível uso como co-fator importante no enraizamento, podendo até mesmo substituir a utilização de auxinas sintéticas. Portanto, os resultados apresentados na Tabela 3 permitem inferência da importância da utilização desse micronutriente como importante fator no enraizamento e desenvolvimento de miniestacas de *C. arabica*.

**Tabela 3 – Desdobramento da interação entre os fatores zinco, sacarose e área foliar remanescente para a característica de peso de massa seca do sistema radicular de miniestacas de café arábica**

Com Zinco	Sem Zinco
-----------	-----------

	Sacarose	0%			10%			20%					
		0%	10%	20%	0%	10%	20%	0%	10%	20%			
Área foliar	25%	11	C <u>a</u> a	11,31	A <u>a</u> a	11,7	A <u>a</u> a	8,71	A <u>b</u> a	8,8	A <u>b</u> a	8,7	B <u>b</u> a
	50%	11,7	B <u>a</u> a	11,64	A <u>a</u> a	11,5	A <u>a</u> a	8,60	A <u>b</u> a	8,8	A <u>b</u> a	8,4	B <u>b</u> a
	75%	12,5	A <u>a</u> a	11,70	A <u>a</u> b	11,7	A <u>a</u> b	8,92	A <u>b</u> a	9	A <u>b</u> a	9,2	A <u>b</u> a

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade. \*Letras maiúscula, na coluna, comparam diferentes percentuais de área foliar remanescente em um mesmo tratamento. Letras minúsculas, sublinhadas, comparam o mesmo tratamento, com e sem zinco. Letras minúsculas, na mesma linha, comparam diferentes tratamentos com ou sem zinco.**

Para as características do diâmetro médio da brotação (Tabela 4) e o número de folhas novas (Tabela 5) nas miniestacas estudadas, somente o efeito simples da aplicação de zinco apresentou diferenças significativas.

Analisando o efeito do zinco no diâmetro da brotação, observa-se que com a aplicação de zinco as miniestacas tiveram um aumento médio de 0,20 cm em relação à testemunha. Análogo ao resultado acima, as miniestacas tratadas com zinco também obtiveram um acréscimo no número de folhas em relação à testemunha na ordem de 0,73 folhas a mais que a testemunha.

Malavolta et al. (1997) explicam que a redução no crescimento e produção de matéria seca em plantas submetidas a elevados teores de zinco é devido ao acúmulo de tampões contendo esse nutriente no xilema das plantas, dificultando a ascensão da seiva bruta. Diante disso, é importante salientar que antes da realização do referido experimento, foi realizado um teste preliminar para definir a dose ideal para esta situação, chegando então à dose de 20 mg L<sup>-1</sup>. Trabalhando com teores baixos de zinco, Chaves et al. (2009) observaram também que a aplicação de zinco na dose correta não apresentou efeito negativo sobre a matéria seca de caules e folhas de pinhão-manso.

Os resultados de crescimento vegetativo encontrados acima corroboram com Leite e Mendes (1995) que observaram bons resultados advindos da aplicação foliar de sulfato de zinco via foliar em estacas de *Coffea arabica*. Por outro lado, os resultados são diferentes dos encontrados por Resende et al. (2000) que observaram uma redução no enraizamento e desenvolvimento de estacas em até 20%, entre estacas imersas em solução com Zn e estacas advindas de plantas matrizes submetidas a aplicações de zinco foliar.

**Tabela 4 – Diâmetro médio da brotação de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento**

TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM ZINCO	2,54 A
SEM ZINCO	2,34 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

**Tabela 5 – Número de folhas novas em miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento**

TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM ZINCO	7,85 A
SEM ZINCO	7,12 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

Ao analisarmos as características do sistema radicular, o volume de raízes das miniestacas apresentou diferenças estatísticas significativas para todos os fatores com efeito simples, não havendo, portanto, significância na interação entre eles. Na tabela 6 estão apresentados os resultados referentes à suplementação de zinco na solução de enraizamento com AIB.

A partir da tabela observa-se que as miniestacas que foram submetidas ao tratamento basal com AIB + Sulfato de zinco apresentaram um maior volume radicular que as da testemunha, com um acréscimo médio de 10%. Plantas com sistema radicular bem desenvolvido têm maior capacidade de absorção de água e nutrientes, consequentemente podem crescer mais rapidamente, apresentando aspecto mais vistoso, qualidade que é indispensável para o desenvolvimento após o plantio.

Estes resultados concordam com Bergo (1997), que notou não haver influência do sulfato de zinco sobre o enraizamento de estacas do cafeeiro, Catuaí Vermelho IAC44 e Acaiaí 374/19, tendo observado apenas aumento do peso de matéria seca de raízes para cultivar Acaiaí. Porém, até o momento o presente experimento tem apresentado resultados promissores com a cultivar Mundo Novo. Porém, assim como citado por Nicoloso, Lazzari e Fortunato (1999), é importante salientar que o Zn sem a associação com AIB não influencia positivamente quando aplicado na região basal das estacas.

No processo de propagação vegetativa de *C. arabica* por meio de enraizamento de miniestacas, o sucesso no enraizamento, o crescimento e posterior desenvolvimento do sistema radicular das mudas são altamente influenciados por inúmeros fatores, como: ambientais, morfológicos e de caráter genético, visto que há certa variação no enraizamento entre diversas cultivares e progênies (Jesus, 2003; Baliza et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Rezende et al., 2010).

**Tabela 6 – Volume do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento**

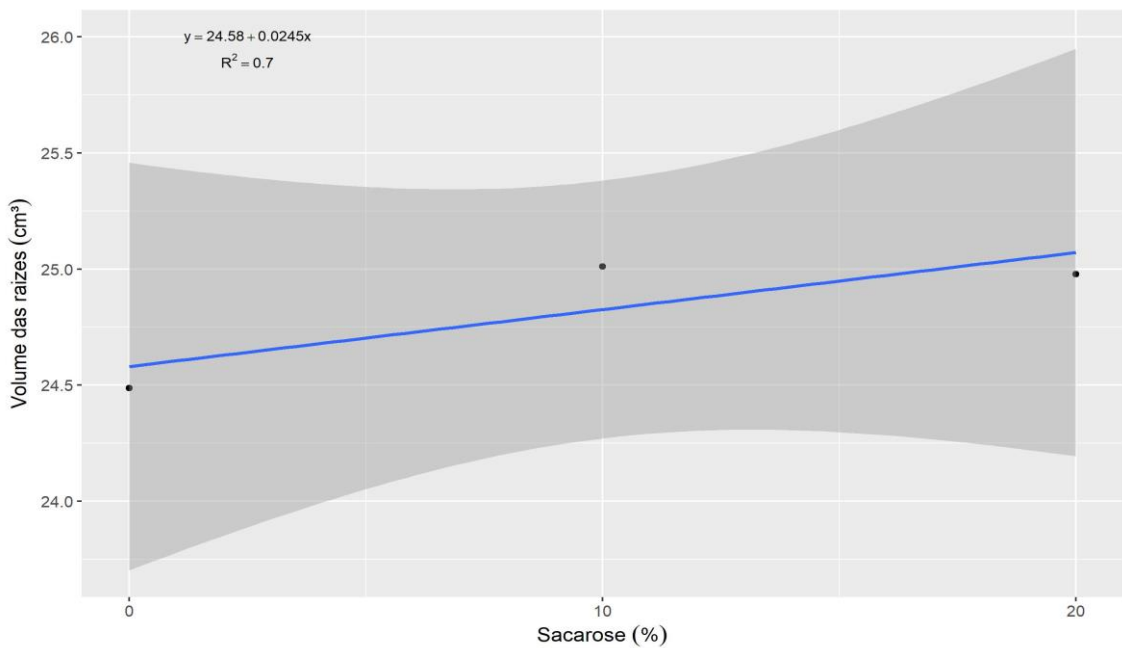
TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM ZINCO	29,15 A
SEM ZINCO	20,49 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

Para o resultado de volume radicular em função da concentração de sacarose aplicada foi ajustado o modelo linear apresentado na figura 10. Por meio deste modelo, observa-se que a cada 1% de aumento na concentração de sacarose na calda de aplicação, aumenta-se 0,0245 cm<sup>3</sup> no volume radicular das miniestacas.

Portanto, a partir dos resultados obtidos no presente trabalho a respeito da aplicação de sacarose, ela se mostra um fator importante e eficiente na formação de mudas por estaquia e mini estaquia, tanto no crescimento de parte aérea quanto de sistema radicular.

**Figura 10 – Ajuste de regressão para volume de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da sacarose**

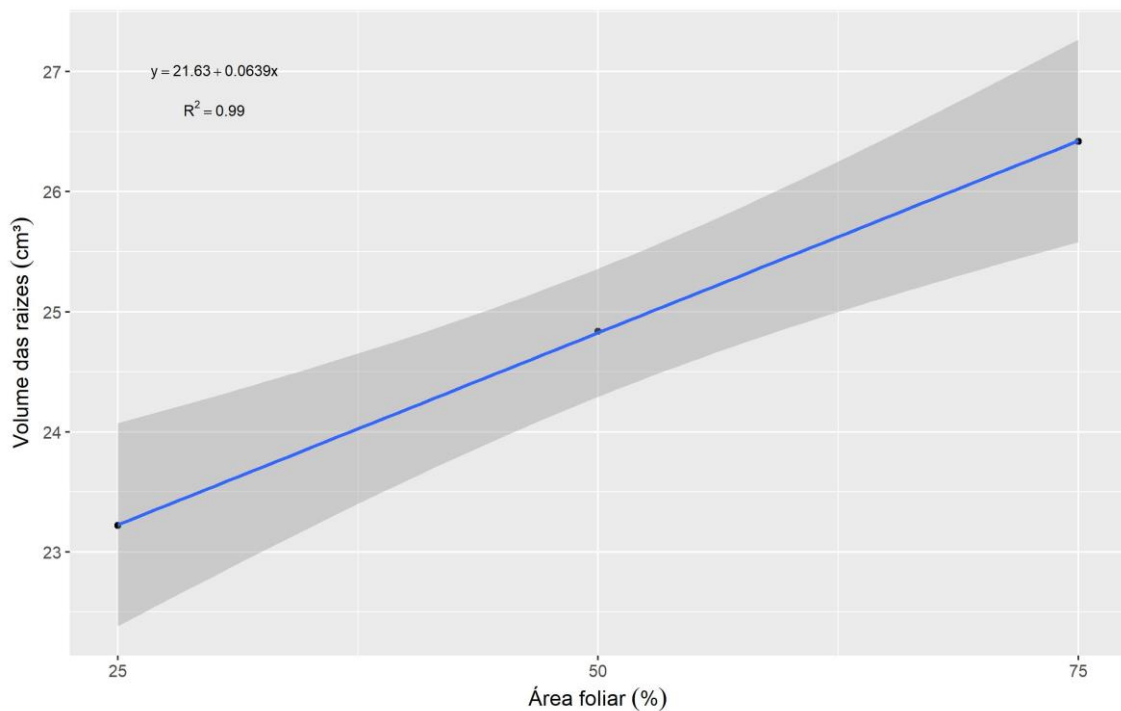


Fonte: do Autor (2022)

Para o resultado do efeito simples da área foliar remanescente, é importante salientar a importância de sua manutenção para o sucesso da prática da propagação via mini estaquia. A obtenção de mudas clonais de cafeeiros por miniestacas com um melhor crescimento e desenvolvimento é favorecida quando se propicia condições necessárias para que a mini estaca tenha um maior acúmulo de biomassa nas folhas, uma maior área e volume do sistema radicular. Assim, é importante realizar práticas de manejo que visem manter, por maior tempo possível, as folhas remanescentes (REZENDE et al., 2017), haja vista a importância das folhas no fornecimento de auxina e nutrientes para o crescimento radicular das estacas (VAN OVERBEEK et al. 1946).

Observa-se na figura 11 que, o modelo linear ajustado é fidedigno aos dados do experimento, haja vista o valor de 99% do coeficiente de determinação. Nota-se também que a cada 1% de incremento no percentual de área foliar remanescente, o volume radicular é acrescido em  $0,0639 \text{ cm}^3$ . Portanto as miniestacas enraizadas com um maior tamanho de área foliar, apresentaram raízes mais volumosas. Conseqüentemente essas folhas já maduras e em maiores porções proporcionaram um maior aporte de fotoassimilados aos tecidos meristemáticos, gerando volumes superior de raízes quando comparados os resultados com plantas de menor área foliar.

**Figura 11 – Ajuste de regressão para volume de raízes de mudas de café arabica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**



Fonte: do Autor (2022)

Análogo ao comportamento do volume radicular, os resultados para a área superficial de raízes não apresentaram significância estatística para as interações entre os fatores estudados, sendo notadas somente diferenças estatísticas para os efeitos simples dos mesmos. Na Tabela 7, abaixo, estão apresentados os resultados referentes à influência do tratamento com zinco na solução de enraizamento com AIB. Observa-se que a presença do zinco no enraizamento proporcionou uma maior área superficial média de raízes para as miniestacas.

Porém é importante salientar que, altas concentrações de Zn podem causar efeitos de toxidez em plantas não tolerantes sendo os sintomas a diminuição do sistema radicular e do tamanho das folhas, e conseqüentemente diminuição na produção de massa seca na planta (ADRIANO; PAULSEN; MURPHY, 1971). Com isso, é possível inferir que a dose de zinco na solução com AIB, assim como o zinco endógeno já presente na mini estaca não estavam em níveis tóxicos para as plantas.

Portanto, uma maior absorção de Zn fez com que este elemento fizesse parte de sistemas enzimáticos, regulando o metabolismo de carboidratos, fosfatos e proteínas e, principalmente na formação de auxinas, fatores cruciais na regulação do crescimento vegetal (HAFEEZ; KHANIF; SALEEM, 2013). Hartmann et al. (2017) afirmaram que muitas vezes as raízes aparecem após a formação do calo, por meio da diferenciação das células parenquimáticas. Se a formação de calos precede a formação e liberação de raízes adventícias, esse processo também



está intrinsecamente ligado a fatores hormonais e fisiológicos da planta, e para esse fator o Zn é um nutriente essencial.

**Tabela 7 – Área superficial do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento**

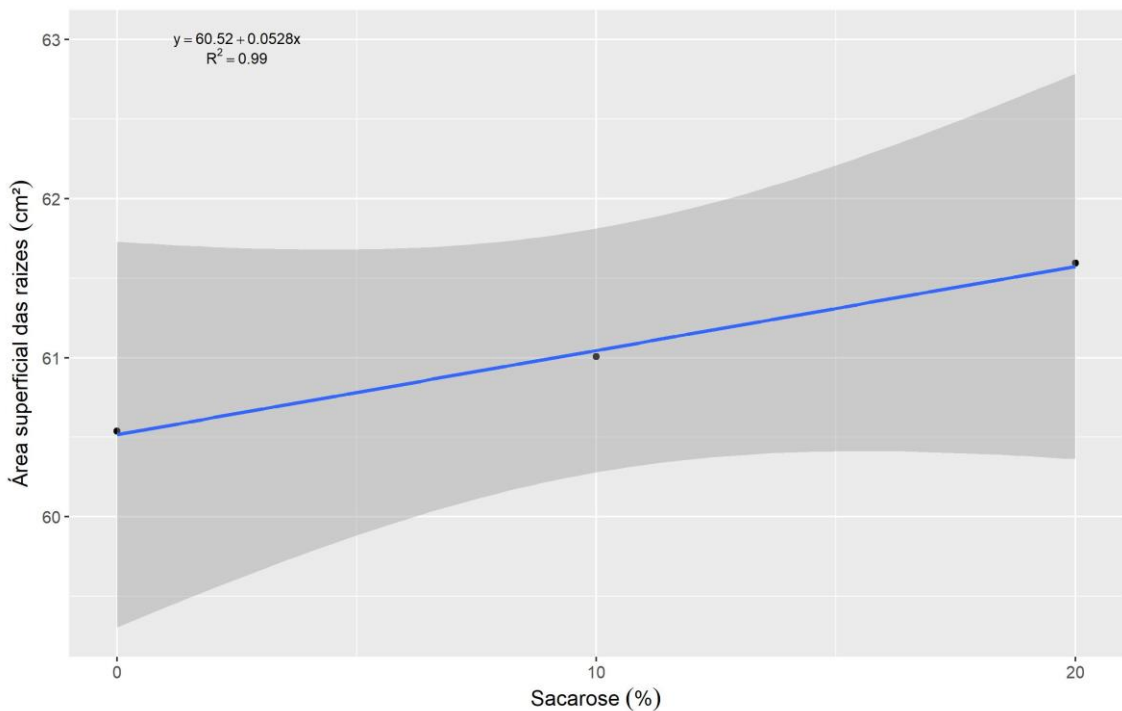
TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM ZINCO	66,84 A
SEM ZINCO	55,24 B

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

Para o efeito simples da aplicação de doses de sacarose (Figura 12), observa-se que conforme aumentamos a dose, a tendência observada pelo modelo ajustado é de um aumento na área superficial das raízes na ordem de 0,0528 cm<sup>2</sup> para cada 1% de sacarose que se aumenta na concentração da calda de aplicação.

A importância dos carboidratos na emissão e formação de raízes vem sendo bem discutida. Reservas abundantes de carboidratos podem estar correlacionadas com maiores porcentagens de enraizamento e sobrevivência das plantas (FACHINELLO et al., 1995). Os níveis de sacarose devem ser mantidos em torno de 3%, pois dessa forma, a planta acumularia reservas de carboidratos como fonte de energia para sobreviver no período de aclimatização. Para obter sucesso no desenvolvimento das plântulas, é necessário observar as concentrações do açúcar, pois estas influenciam diretamente nas reações fisiológicas das plantas (MOREIRA et al., 2007). O estado nutricional exerce grande influência no enraizamento, uma vez que o processo de iniciação radicular requer energia. A maior influência dos carboidratos está ligada à relação carbono/nitrogênio, portanto a aplicação exógena de açúcares e amido pode favorecer essa relação (ASSIS & TEIXEIRA, 1998).

**Figura 12 – Ajuste de regressão para área superficial de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da sacarose**

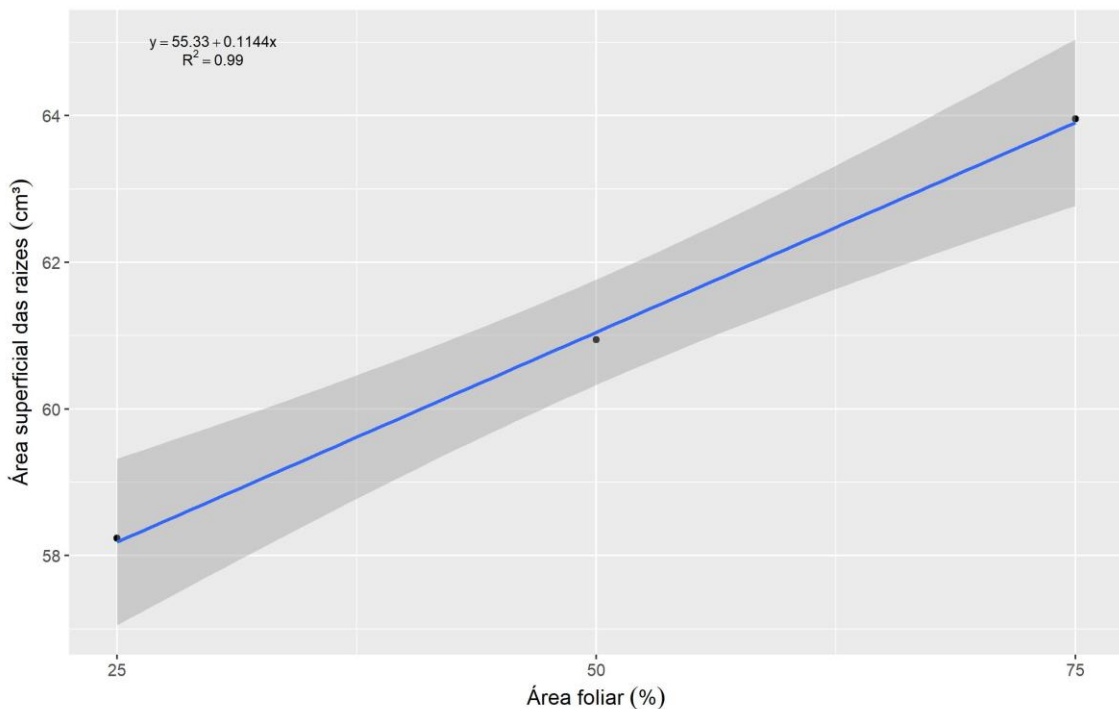


Fonte: do Autor (2022)

Em relação ao efeito simples de área foliar remanescente no aumento da área superficial das miniestacas estudadas, observa-se um padrão já apresentado algumas vezes no presente trabalho. Conforme o modelo ajustado (Figura 13), a cada 1% de área foliar remanescente a mais que a mini estaca possuía, isso causou um incremento médio de  $0,1144 \text{ cm}^2$  de área de raiz. Considerando os níveis de 25 e 75%, as miniestacas com 75% de área foliar obtiveram uma área superficial de raiz  $5,72 \text{ cm}^2$  maior que as com 25%. Este crescimento representa um aumento de quase 10%.

Portanto é possível afirmar que o corte excessivo do limbo foliar pode limitar ou atrasar o desenvolvimento inicial das mudas, pela menor disponibilidade de área fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, menor produção de fotoassimilados (HARTMANN et al., 2017; TAIZ et al., 2017). Porém, menores níveis de cortes (como o de 75% de área foliar) também podem ser prejudiciais, onde a sobreposição de limbos é favorecida pela maior área remanescente da folha nas estacas, o que prejudica a interceptação de luz e a chegada de água ao substrato, favorecendo o escoamento da água sobre as folhas (ALFENAS et al., 2009). Portanto, apesar do efeito positivo de elevados níveis de área foliar remanescente apresentados no presente trabalho, deve-se atentar à disposição das mudas no local de enraizamento de uma forma que não ocorra uma sobreposição dos limbos foliares.

**Figura 13 – Ajuste de regressão para área superficial de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**



Fonte: do Autor (2022)

Passando para o comprimento do sistema radicular, também não foram observadas diferenças estatísticas da interação entre os fatores estudados, somente o efeito simples do zinco e da área foliar remanescente. Observa-se na tabela 8 que a inclusão do zinco na solução com AIB foi novamente positiva para outro caractere do sistema radicular, proporcionando um ganho médio de quase 10% a mais de crescimento em comparação com a testemunha.

Em trabalho realizado por Yamashita et al. (2006) o tratamento com zinco aumentou o enraizamento de mudas de manga. Embora o mecanismo subjacente ao papel do zinco no enraizamento das plantas ainda não foi elucidado, foi sugerido que o zinco pode promover a formação de triptofano, um precursor de auxina, o que resulta em um maior nível de auxina (AIA) em plantas. Devido a isso, acredita-se que o zinco com associação ao AIB promoveu um maior enraizamento, crescimento e volume radicular por meio de um balanço hormonal favorável para a formação de raízes adventícias de forma mais eficiente. Esses fatos são ratificados pelos resultados encontrados no presente trabalho.

**Tabela 8 – Comprimento do sistema radicular de miniestacas de café arábica suplementadas ou não com zinco na solução de enraizamento**

TRATAMENTOS	MÉDIAS
COM ZINCO	12,28 A
SEM ZINCO	9,48 B

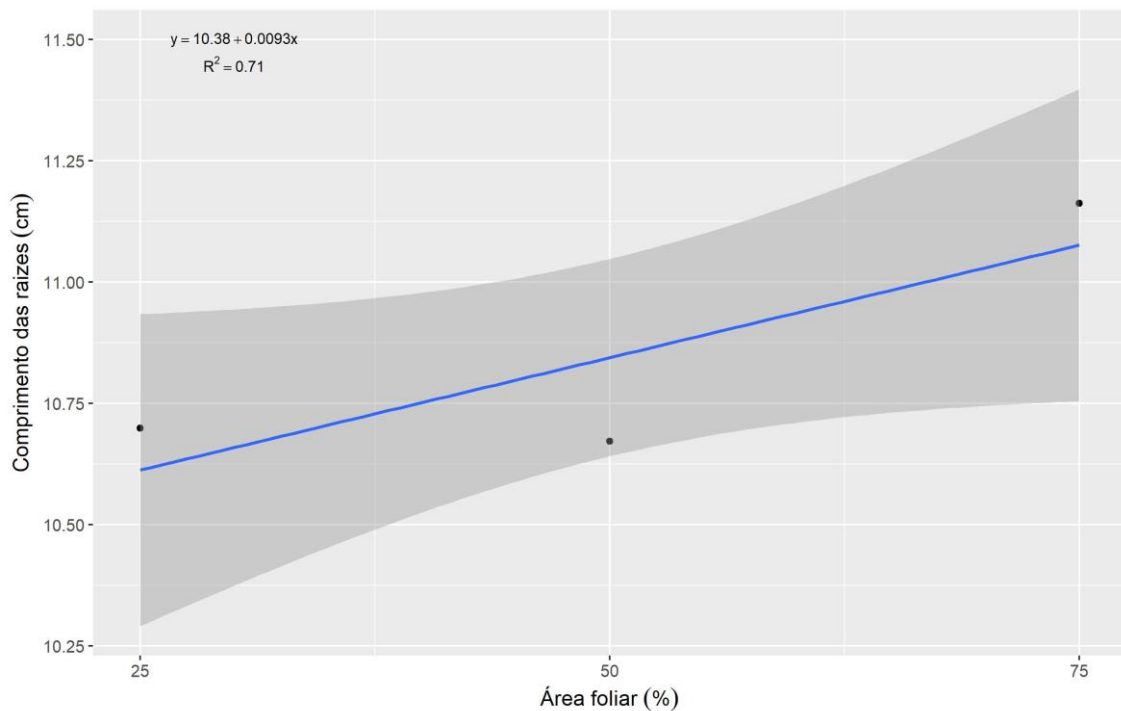
**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.**

Para o efeito simples da área foliar remanescente no comprimento de raízes de miniestacas, assim como no volume e área superficial das raízes, observa-se um aumento no crescimento radicular conforme as plantas foram colocadas para enraizar com maior área foliar (Figura 14). Observando o modelo obtido, o ganho médio de comprimento de raiz comparando as miniestacas com maior área foliar com as de menor proporção foi de quase 0,5 cm.

Portanto, o uso de proporções de corte muito intensas pode causar a limitação do volume e da biomassa de raízes das mudas e, conseqüentemente, uma desaceleração do crescimento radicular. Resultados análogos foram encontrados por Verdin Filho et al. (2022) quando se trabalhou com reduções drásticas no percentual de área foliar remanescente no enraizamento de estacas de *Coffea canephora*.

A produção de mudas de cafeeiro arábica com sistema radicular bem desenvolvido é um fator determinante para o pegamento e desenvolvimento inicial das plantas no campo, pois um sistema radicular vigoroso favorece a eficiência na absorção de água e nutrientes do solo, que pode tornar as plantas mais capacitadas para suportar os possíveis estresses ambientais (FREITAS et al., 2005).

**Figura 14 – Ajuste de regressão para comprimento de raízes de mudas de café arábica obtidas por enraizamento de miniestacas em função da área foliar**



Fonte: do Autor (2022)

Passando ao peso de matéria seca do sistema radicular, assim como na característica de altura de plantas, os dados apresentaram diferenças estatísticas para a interação tripla (Tabela 9) entre os fatores, não sendo então necessária a apresentação dos efeitos simples.

Analisando os resultados das plantas tratadas com zinco na solução com AIB, os tratamentos com 75% de área foliar foram sempre superiores aos demais, independente da dosagem de sacarose adotada. Paralelamente, as estacas enraizadas com 25% de área foliar foram sempre inferiores aos demais tratamentos, também, independente da dosagem de sacarose. Ao nível de 10% de sacarose na calda de pulverização observa-se a formação de três grupos distintos, de forma crescente, conforme se aumenta o percentual de área foliar, reforçando o cuidado com as folhas remanescentes de modo a proporcionar um bom desenvolvimento vegetativo a acúmulo de biomassa da miniestacas enraizadas.

Já para os tratamentos que não foram submetidos ao tratamento com zinco, as miniestacas tratadas com 10% de sacarose não diferiram estatisticamente, indicando que o teor de área foliar não influenciou no resultado. Porém, ao compararmos os valores médios do peso de massa seca encontrados no mesmo tratamento (letras sublinhadas), porém com a presença de zinco, o acréscimo de massa seca variou de 15 a 45%, indicando o efeito benéfico do zinco

aliado a um bom percentual de área foliar no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das miniestacas.

É conhecido que a deficiência de Zn provoca um desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução do nitrato, inibe a RNAase (RNA desidrogenase), o que resulta em menor síntese de proteínas, o que dificulta a divisão celular, proporcionando menor tamanho de células (MALAVOLTA, 2006). Portanto, a produção de massa seca da parte aérea, caule e raízes de cafeeiros reduz-se em condições de baixa disponibilidade de Zn, onde, em condições de suprimento adequado ou elevado de zinco esse se acumula em raízes e caules, enquanto em condições de deficiência há maiores concentrações em folhas apicais (PEDROSA et al., 2013).

Observa-se também que na comparação entre os tratamentos iguais, porém com e sem zinco (letra sublinhada), ao nível de 0% de sacarose não diferiram estatisticamente. Porém, curiosamente, aos níveis de 10 e 20% de sacarose as miniestacas que não foram submetidas ao tratamento de zinco foram sempre estatisticamente inferiores, indicando que a sacarose em associação com o Zn foi benéfica às plantas.

Analisando os tratamentos com ou sem zinco (letra minúscula), observa-se o único tratamento que diferiu foi de doses de sacarose ao nível de 25% de área foliar em miniestacas tratadas com Zinco. Neste caso as plantas foram estatisticamente superiores no acúmulo de biomassa ao nível de 20% de sacarose. Isso pode se dever ao fato de que uma maior concentração de sacarose na calda de pulverização aliada com uma boa aplicação, permitiu que as plantas com menor capacidade fotossintética tivessem o aporte necessário de carboidratos para seu desenvolvimento apesar da redução do tamanho das folhas maduras.

Na propagação por estaquia de espécies vegetais, a presença de folhas, ou de pelo menos parte delas, nas estacas exerce estímulo ao enraizamento, principalmente devido à translocação de carboidratos e auxinas das folhas para a região de crescimento radicular (HARTMANN et al., 2017). Além disso, existem relatos para outras culturas que a alteração da proporção de área foliar remanescente nas estacas pode modificar o padrão de crescimento das mudas formadas (SANTANA et al., 2010; SOUZA et al., 2013).

**Tabela 9 – Desdobramento da interação entre os fatores zinco, sacarose e área foliar específica para a característica de peso de massa seca do sistema radicular de miniestacas de café arábica**

Sacarose	Com Zinco			Sem Zinco		
	0%	10%	20%	0%	10%	20%
25%	0,23 B <u>a</u> b	0,23 C <u>a</u> b	0,26 B <u>a</u> a	0,15 B <u>a</u> a	0,20 A <u>b</u> a	0,20 B <u>b</u> a

Área	50%	0,27	A <u>a</u>	a	0,27	B <u>a</u>	a	0,28	A <u>a</u>	a	0,17	A <u>a</u>	a	0,20	A <u>b</u>	a	0,20	A <u>b</u>	a
foliar	75%	0,28	A <u>a</u>	a	0,29	A <u>a</u>	a	0,28	A <u>a</u>	a	0,16	A <u>a</u>	a	0,20	A <u>b</u>	a	0,20	A <u>b</u>	a

**Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo, sendo estatisticamente iguais, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade. \*Letras maiúscula nas, na coluna, comparam diferentes percentuais de área foliar remanescente em um mesmo tratamento. Letras minúsculas, sublinhadas, comparam o mesmo tratamento com e sem zinco. Letras minúsculas, na mesma linha, comparam diferentes tratamentos com ou sem zinco.**

## 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sugere-se estudos que identifiquem efeitos e eficiência de diferentes fontes de zinco, assim como o intervalo em dias entre as aplicações de sacarose.

## 6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o atual protocolo de enraizamento de miniestacas de café arábica pode ser ampliado com:

- a inserção de B ou Zn na solução com AIB;
- utilização de doses de sacarose exógena a 20% de concentração em um intervalo de 20 dias;
- possibilidade do enraizamento de miniestacas com 75% de área foliar remanescente.

## REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D. C.; PAULSEN, G. M.; MURPHY, L. S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 36-39, 1971.
- AGWANDA, C. O. et al. Selection for bean and liquor qualities within related hybrids of Arabica coffee in multilocal field trials. **Euphytica**, Wageningen, v. 131, p. 1-14, 2003.
- ALECRIM, A. O.; GUIMARÃES, R. J.; CASTANHEIRA, D. T.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, M. A. F.; VOLTOLINI, G. B. Sucrose in detoxification of coffee plants with glyphosate drift. **Coffee Science**, v. 14, n. 1, p. 48-54, 2019.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do Eucalipto**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2009. 500p.
- ALMEIDA, F. D. et al. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007.
- ALMEIDA, L. S.; MAIA, N.; ORTEGA, A. R.; ÂNGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 323-329, 2005.
- ANDRE, M. Observations sur l'orthotropisme et le plagiotropisme des rameaux chez *Coffea arabica* L. *Café Cacao Thé*, v. 17, p. 125-128, 1973.
- ASSIS, T. F.; TEIXEIRA, S. L. 1998. **Enraizamento de plantas lenhosas**. In: TORRES, A.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI/ Embrapa CNPH, v. 1, p. 261-296.
- BAKKER, M.R.; AUGUSTO, L.; ACHAT, D.L. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. **Plant Soil**, [S.l.], v. 286, p. 37-51, 2006.
- BALIZA, D. P.; REZENDE, T.T. ; OLIVEIRA, D.H. ; CARVALHO, S. P. DE ; ÁVILA, F. W. ; GUIMARÃES, R.J. Crescimento de estacas caulinares de cultivares de café em ambientes diferentes. **Magistra**, v. 22, p. 113-118, 2010.



- BERGO, CL. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) através de enraizamento de estacas**. Lavras: UFLA, 1997. 62p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BERGO, C. L.; MENDES, A. N. G. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 392–398, mar./abr. 2000.
- BEZERRA, A. K. D.; FERRAZ, M. V.; PIVETTA, K. F. L.; NOGUEIRA, M. R.; MAZZINI-GUEDES, R. B. Rooting of azalea cuttings of Otto and Terra Nova cultivars treated with auxin and boron. **Ornamental horticulture**, v. 26, n. 1, p. 77-88, 2020.
- BLAKESLEY, D.; WESTON, G. D.; HALL, J. F. The role of endogenous auxin in root initiation. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 10, p. 341-353, 1991.
- CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação de café Arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 831-839, jul. 1985.
- CAMARGO, M.B.P. de. The impact of climatic variability and climate change on Arabica coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.
- CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DASILVA, V. (org.). *Restauração florestal: Fundamentos e Estudos de Caso*, Colombo: Embrapa Florestas, p. 27-45, 2005.
- CARVALHO, A.; MÔNACO, L.C.; FAZUOLI, L.C. Melhoramento do cafeeiro: XL. Estudos de progênes e híbridos de café Catuaí. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 22, p. 202-16, 1979.
- CARVALHO, A. Novas variedades mais produtivas. **Agricultura Hoje**, São Paulo, v. 6, n. 68, p. 32-34, mar. 1981.
- CARVALHO, A. Evolução nos cultivares de café. **O Agrônomo**, Campinas, v. 37, n. 1, p. 7-11, jan./abr. 1985.
- CARVALHO, C. de et al. Características agronômicas e morfológicas de cafeeiro 'Catuaí Vermelho' propagado por embriogênese somática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 378–383, abr. 2011.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). O melhoramento de plantas no Instituto Agrônômico. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. v. 1, p. 29-76.

CARVALHO, C. H. S. (Ed.). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334 p.

CASTRO, P. R. C.; SANTOS, C. V. M.; STIPP, S. R. Nutrição vegetal e biorregulação no desenvolvimento das plantas. *Informações Agrônômicas*, n. 139, 2012.

CHAVES, L. H. G. et al. Zinco e cobre em pinhão manso. I. Crescimento inicial da cultura. *Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 94-99, 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento Safra Brasileira de Café: safra 2022: terceiro levantamento. Brasília: Conab, 2022. 66 p.

COSTA, M. N. et al. Divergência genética entre acessos e cultivares de mamoneira por meio de estatística multivariada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, p. 1617-1622, 2006.

CUNHA, A.C.M.C.M.; PAIVA, H.N.; XAVIER, A.; OTONI, W.C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n.58, p.35-49, 2009.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Res. Int.* 2010, 43, 1814–1823.

DAMATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C. V.; RAMALHO, J. C. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 5264–5274

DOMINGHETTI, A. F. et al. Influence of spatial arrangements on silvicultural characteristics of three Eucalyptus clones at integrated crop-livestock-forest system. ***African Journal of Agricultural Research***, v. 11, n. 19, p. 1734-1742, 2016.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. Métodos de propagação vegetativa. In: \_\_\_\_\_. Propagação de plantas frutíferas de clima temperado. Pelotas: UFPel, p.41-149, 1994.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. L. 1995. Propagação de plantas frutíferas de clima temperado. 2ed. Pelotas: UFPel, 178p.

FAZUOLI, L. C. et al. Melhoramento do Cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agrônômico de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). O estado da arte de tecnologias na produção de café. Viçosa: Editora da UFV, 2002. p. 163–216.

FERNANDES, D. A.; MARTINEZ, D. T.; COSTA, R. B. Sacarose e ácido indolbutírico no enraizamento de *Tectona grandis* L.f. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 90, n. 1, 2015.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; SOUZA, B. P.; STURMER, S. L. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, G. D.; CARNEIRO, A. G. J.; PENCHEL, M. R.; LAMÔNICA, R. K.; FERREIRA A. D. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. *Revista Árvore*, v. 29, n. 6, p. 853-861, 2005.

GAUCH, H.G., DUGGER, W.M. JR. The physiological action of boron in higher plants: review and interpretation. Maryland: University of Maryland AES Bull, 1954. 43 p. Boletim Técnico, 80.

GEORGET, F.; COURTEL, P.; GARCIA, E. M.; HIDALGO, M.; ALPIZAR, E.; BREITLER, J-C.; BERTRAND, B.; ETIENNE, H. Somatic embryogenesis-derived coffee plantlets can be efficiently propagated by horticultural rooted mini-cuttings: a boost for somatic embryogenesis. *Scientia Horticulturae*, v. 216, p. 177-185, 2017.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. Cafeicultura. Lavras: Editora UFLA, 2004.

HAFEEZ, B.; KHANIF, Y. M.; SALEEM, M. Role of zinc in plant nutrition - A Review. American Journal of Experimental Agriculture, v. 3, n. 2, p. 374-391, 2013.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D.; DAVIES-JUNIOR, F.; GENEVE, R.; WILSON, S. Hartmann & Kester's Plant propagation: principles and practices. 9th ed. Boston: Pearson, 2017. 1024 p.

HEMBERG, T. Rooting experiment with hypocotyls of *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiology, Copenhagen, v.4, p.358-369, 1951.

HENRY, P.A., BLAZICH, F.A., HINESLEY, L.E. Influence of stock fertility on adventitious rooting of stem cuttings Journal of American Society Horticulture Science, Alexandria, v. 117, p. 568-570, 1992.

HERRERA, T.I.; ONO, E.O.; LEAL, F.P. Efeitos de auxina e boro no enraizamento adventício de estacas caulinares de louro (*Laurus nobilis* L.) Biotemas, v.17, n.1, p.65-77, 2004.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e sua evolução no Brasil, Circular Técnica IPEF, n. 192, São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000, 11p.

INFORZATO, R. O emprego de hormônios no enraizamento de estacas de cafeeiro. Bragantia, Campinas, v. 10, n. 12, p. 385–387, dez. 1950.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Cambridge University Press: Cambridge, U.K., 2013.

IPCC. Proceedings of the 5th Assessment Report, WGII, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2014.

JARVIS, B.C.; ALI, A.H.N.; SHAHEED, A.I. Auxin e boron in relation to the response and ageing of mung bean cuttings. New Phytologist, Cambridge, v.95,p. 509-518, 1983.

JESUS, A. M. S. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2004. 170 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

JESUS, A. M. S. et al. Observações anatômicas em plantas de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de estacas. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 175– 180, mar./abr. 2010.

JESUS, A. M. S. et al. Aspectos fitotécnicos de estacas caulinares de cafeeiro enraizadas. *Scientia Agraria Paranaensis – SAP*, Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 4, p. 308-319, out./dez. 2013.

KERSTEN, E. Efeito do Boro, Zinco e Ácido Indol-butírico no enraizamento de estacas de dois cultivares de ameixeira (*Prunus salicina*, Lindl.). Piracicaba - SP, 1990. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior Luiz de Queiroz, 1990.

LEITE, C.; MENDES, A.N.G. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) “in vivo” através do enraizamento de estacas. IN: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA ESAL/UFLA, 8, E SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PIBIC/CNPq, 3, Lavras, 1995. Resumos... Lavras : UFLA, 1995. P.204.

LIMA, D. M. et al. Efeito de adubações foliares em pré e pós-florada na cultura do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., Poços de Caldas. Anais... Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1998. p. 193-194.

LOPES, F. et al. Integração de dados quantitativos e multicategóricos na determinação da divergência genética entre acessos de cafeeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 3, p. 224-229, 2013.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; JOHNSON, G.M. Estudos sobre a alimentação mineral de cafeeiro. VI-Efeitos das deficiências de micronutrientes em *Coffea arábica* L. var. Mundo Novo, cultivado em solução nutritiva. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v.18, p. 147-167,1961.

MALAVOLTA, E. Os micronutrientes. In: MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo Ceres, 1976. p. 413-448.

MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MANGINI, D. et al. Efeito da aplicação de boro e zinco na presença de sacarose, uréia e cloreto de potássio via foliar na nutrição mineral de produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., Poços de Caldas. Anais... Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1998. p. 198-200.

MASSULO, L. S.; DERISSO, V. D.; MANARIM, G. R.; FERRAZ, A. V.; ROCHA, J. H. T.; AVILA, P. A.; FLORENTINO, A. L.; AGUIAR, C. L.; LAVRES, J.; GONÇALVES, J. L. M. Modulation of structural carbohydrates, phenol compounds and lignin content in *Eucalyptus urophylla* cuttings grown under boron, copper and zinc induced-deficiency, **New Forests**, v. 53, p. 337-352, 2022.

MENGEL, K., KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1979. 579 p.

MIDDLETON, W., JARVIS, B.C., BOOTH, A. The boron requirement for roots development in stem cutting of *Phaseolus aureus* Roxb. *New Phytology*, v. 81, p. 287-291, 1978.

MOENS, P (1968) Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. *Turrialba* 18: 209-233.

MÔNACO, L. C. Banco ativo de germoplasma. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS VEGETAIS, 1980, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: EMBRAPA, 1980. p. 72.

MOREIRA, B. M. T.; TOMBA, E. C.; ZONETTI, P.C. 2007. Crescimento in vitro de plântulas de orquídea (*Laelia purpurata* Lindl var. *venosa* X *Cattleya warneri* T. Moore alba) sob diferentes concentrações de sacarose e frutose. *Sábios – Revista Saúde e Biologia*, Campo Mourão, v. 2, n. 2, p. 16-21.

NICOLOSO, F. T.; LAZZARI, M.; FORTUNATO, R. P. Propagação vegetativa de *Platanus acerifolia* Ait.: (I) Efeito de tipos fisiológicos das estacas e épocas de coleta no enraizamento de estacas. **Ciência Rural**, v. 29, n. 3, p. 479-485, 1999.

OLIVEIRA, D. H. BALIZA, D. P.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, S. P. de; GUIMARÃES, R. J. Influência do comprimento de estacas e ambientes no crescimento de mudas cafeeiras obtidas por enraizamento. *Coffee Science*, v. 5, n. 2, p. 183–189, 2010.

ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; PINHO, S.Z. Ação de auxina e/ou boro, no processo de formação de raízes em estacas de café (*Coffea arábica* L., "Mundo Novo" ). *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba v 37 n1' p. 157-166,1994.

ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; PINHO, S.Z. Influência de auxina e ácido bórico no processo de enraizamento estacas caulinares (*Coffea arábica* L., "Mundo Novo"). *Vegetalia*, São José do Rio Preto, n.27, p. 11-16,1993.

ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; PINHO, SZ. Interações entre auxina e ácido bórico, no enraizamento estacas caulinares de café (*Coffea arábica* L., "Mundo Novo"). **Science Agriculture**. Piracicaba, v.49, n.1, p. 29-35,1992.

ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z.; RODRIGUES, S. D. Enraizamento de estacas de café cv. Mundo novo submetidas à tratamentos auxínicos e com boro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 28, n. 7, p. 773-777, 1993.

PEDROSA, A. W. et al. Crescimento de cultivares de café em resposta a doses contrastantes de zinco. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 295-305, 2013.

PEREIRA, J.E.; MATIELO, J.B.; MIGUEL, A E. Fontes e modos de aplicação de zinco e boro na adubação do cafeeiro em latossolo vermelho amarelo distrófico húmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. Resumos... Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1975. p. 203-205.

PEREIRA, A. A. et al. Melhoramento genético do cafeeiro no Estado de Minas Gerais: cultivares lançadas e em fase de obtenção. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). O estado da arte de tecnologia na produção de café. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. p. 253-295.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/>.

REGUERA, M.; ESPÍ, A.; BOLAÑOS, L.; BONILLA, I.; REDONDO-NIETO, M. Endoreduplication before cell differentiation fails in boron-deficient legume nodules. Is boron involved in signaling during cell cycle regulation? *New Phytol.* 183, 8–12, 2009.

REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. Café arábica do plantio à colheita. Lavras: UR EPAMIG SM, 2010. 896 p.

RESENDE, M. D. V. de et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 3, p. 185-193, 2001.

RESENDE, E.; PEREIRA, A. P.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. Influência do sulfato de zinco sobre a propagação por estacas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Trabalho apresentando no Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (Poços de Caldas, MG). Resumos expandidos. Brasília, D.F.: Embrapa Café, Belo Horizonte, 2000.

REZENDE, T.T. et al. Efeitos de tipos de estacas caulinares e do ambiente sobre o crescimento de mudas de café. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 387-391, set./out. 2010.

REZENDE, J.C.D.; CARVALHO, C.H.S.; PAIVA, A.C.R.S.; PASQUAL, M.; TEIXEIRA, J. B. (2012) MULTIPLICATION OF EMBRYOGENIC CALLI IN *COFFEA ARABICA* L. *ACTA SCIENTIARUM* 34: 93-98, 2012.



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.

ROSSI, L.; FEDENIA, L.N.; SHARIFAN, H.; MA, X.; LOMBARDINI, L. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiol. Biochem.* 135, 160–166, 2019.

SANTANA, R. C.; DUTRA, T. R.; NETO, J. P. C.; NOGUEIRA, G. S.; GRAZZIOTTI, P. H.; BARROS FILHO, N. F. Influence of leaf area reduction on clonal production of eucalyptus seedlings. *Cerne*, v. 16, n. 3, p. 251-257, 2010.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; PEREIRA, E. M. Efeito do adubo foliar nutrintos na produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Franca. Anais... Brasília: MAA-PROCAFÈ, 1998. p. 63-64

SEETHEPALLI, A.; YORK, L. M. RhizoVision Explorer - Interactive software for generalized root image analysis designed for everyone (Version 2.0.3). Zenodo, 2020.

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 179–190, jun. 2001.

SILVA, J. C.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, A. A.; MAGALHAES, M. M.; LIVRAMENTO, D. E.; FRIES, D. D. Invertase and sucrose synthase activities in coffee plants sprayed with sucrose solution. *Scientia agricola*, v. 60, n. 2, 2003.

SOUZA, C. C.; XAVIER, A.; LEITE, F. P.; SANTANA, R. C.; LEITE, H. G. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* Hill X *E. urophylla* ST Black. *Revista Árvore*, v. 37, n. 1, p. 67-77, 2013.

SOUZA, M. R.; ALMADO, R. P. Produção de mudas na CAF Santa Bárbara Ltda. Miniestaquia clonal em *Eucalyptus* sp. In ROCHA, M. G. B. Melhoramento de espécies arbóreas nativas. Minas Gerais: Instituto Estadual de Florestas, 2002, 171p

- SOUZA, E.S; ROMAN, M.S. Adubação foliar com boro em diferentes estádios fenológicos da soja. Dissertação [Mestrado]. Agronomia – Produção Vegetal. Universidade Federal da Grande Dourados. 35p. 2018
- SRINIVASAN, C. S. & VISHVESHWARA, S. Heterosis and stability for yield in Arabica coffee. *Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 38(3):416- 20, 1978.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010.
- TRAUTMANN, R.R; LANA, M.C; GUIMARÃES, V.F; GONÇALVES JUNIOR, A.C; STEINER, F. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p.240-251, 2014.
- VAN DER VOSSSEN, H. A. M. Coffee Selection and Breeding. In: M. N. Clifford & K. C. Wilson (Eds). *Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. Croom Helm, London & Sydney, 1985. p48-96.
- VAN OVERBEEK, J.; GORDON, S.A.; GREGORY, L.E. An analysis of the function of the leaf in the process of root formation in cuttings. **American Journal of Botany**, Lancaster, v.33, p.100- 107, 1946.
- VERDIN FILHO, A. C. et al. Proporção de corte nas folhas de estacas de café conilon e seus efeitos na formação e na qualidade de mudas clonais. **Pensar Acadêmico**, v.20, n.2, p. 423-434, 2022.
- VILANOVA, M. T. Propagación vegetativa del cafeto. *Café Salvador, El Salvador*, v. 29, n. 336-337, p. 669–681, nov./dec. 1959.
- VILLORDON, A.; GREGORIE, J. C. Variation in boron availability alters root architecture attributes at the onset of storage root formation in three sweet potatoes. **HortScience**, v. 56, n. 11, p. 1423-1429, 2021.
- VOS, J.E.; SNIJDER, B. (2000) In vitro rejuvenation techniques for the rapid commercial release of clonal coffee plants. **Acta Horticulturae** 520: 119-126
- XAVIER, A.; SANTOS, G. A. Clonagem de espécies florestais nativas. In ROCHA, M. G. B. *Melhoramento de espécies arbóreas nativas*. Minas Gerais, Instituto Estadual de Florestas, 2002, 171p.

XAVIER, A. et al. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia, *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n.2, p.139-143, 2003.

WANG, Q., ANDERSEN, A.S. Propagation of *Hibiscus rosasinensis*: relations between stock plant cultivar, age, environment and growth regulator treatments. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 245, p. 289-309, 1989.

WENDLING, I. et al. Efeito do regulador de crescimento AIB na propagação de clones de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 187-192, 2000.

WENDLING, I. Rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus grandis* por miniestaquia seriada e micropropagação. Viçosa, 2002, 105f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa

WENDLING, I.; FERRARI, M. P.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de corticeira-do-mato (*Erythrina falcata* Benth) por miniestaquia a partir de propágulos juvenis, *Comunicado Técnico Embrapa Florestas*, Colombo, n.130, outubro, 2005.

WILKINS, L.C.; GRAVES, W.R.; TOWNSEND, A.M. Development of plants from single-node cuttings differs among cultivars of red maple and freeman maple. *Hortscience*, Alexandria, v.30, n.2, p.360-362, 1995.

YAMASHITA, K.; OKAMURA, S.; HONSHO, C.; TETSUMURA, T. Zinc Treatment in Combination with Auxin Enhances Rooting of Cuttings in Taiwan Native Strain of Mango (*Mangifera indica* L.). *Jpn. J. Trop. Agr.* v. 50, n. 2, p. 76-81, 2006.

## ANEXO 1 – Tabelas de análise de variância do experimento 1

### 1) Análise de variância para a característica de altura de plantas de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	2,470	2,468	3,918	0,048*
Sacarose	2	64,930	32,470	51,54	0,000*
Área Foliar	2	58,140	29,070	46,15	0,000*
Boro : Sacarose	2	0,800	0,401	0,636	0,530 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	0,240	0,120	0,190	0,826 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	17,630	4,408	6,998	0,000*
Boro : Sacarose : Área Foliar	4	2,030	0,508	0,806	0,522 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	170,100	0,629		
Total	287	316,34			
CV(%)	10,12				

### 2) Análise de variância para a característica de diâmetro médio da brotação de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	0,034	0,034	0,715	0,398 <sup>ns</sup>
Sacarose	2	0,254	0,127	2,635	0,074 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	3,870	1,935	40,180	0,000*
Boro : Sacarose	2	0,105	0,052	1,089	0,338 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	0,008	0,004	0,078	0,925 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	0,161	0,040	0,833	0,505 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	0,431	0,108	2,235	0,066 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	13,000	0,048		
Total	287	17,862			
CV(%)	9,68				

3) Análise de variância para a característica de número de folhas novas de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	0,587	0,587	0,665	0,416 <sup>ns</sup>
Sacarose	2	2,340	1,170	1,325	0,268 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	71,970	35,980	40,750	0,000*
Boro : Sacarose	2	0,840	0,420	0,476	0,622 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	0,007	0,003	0,004	0,996 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	5,451	1,363	1,543	0,190 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	2,285	0,571	0,647	0,630 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	238,400	0,883		
Total	287	321,88			
CV(%)	12,88				

4) Análise de variância para a característica de volume de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	4114	4114	2337	0,000*
Sacarose	2	3,473	1,736	0,986	0,374 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	851,5	425,7	241,800	0,000*
Boro : Sacarose	2	1,676	0,8382	0,476	0,622 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	44,26	22,13	12,570	0,000*
Sacarose : Área Foliar	4	6,328	1,582	0,899	0,465 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	2,669	0,6673	0,379	0,824 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	475,3	1,761		
Total	287	5499,206			
CV(%)	5,7				

5) Análise de variância para a característica de área superficial de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	8828	8828	1304	0,000*
Sacarose	2	36,670	18,330	2,708	0,068 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	1933	966,400	142,800	0,000*
Boro : Sacarose	2	11,590	5,795	0,856	0,426 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	90,290	45,140	6,669	0,001*
Sacarose : Área Foliar	4	34,610	8,652	1,278	0,279 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	11,920	2,979	0,440	0,780 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	1828	6,769		
Total	287	12774,08			
CV(%)	4,41				

6) Análise de variância para a característica de comprimento de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	765,700	765,700	2011	0,000*
Sacarose	2	2,538	1,269	3,333	0,037*
Área Foliar	2	50,520	25,260	66,360	0,000*
Boro : Sacarose	2	1,141	0,571	1,499	0,225 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	4,884	2,442	6,414	0,002*
Sacarose : Área Foliar	4	2,223	0,556	1,460	0,215 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	1,524	0,381	1,001	0,408 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	102,800	0,381		
Total	287	931,330			
CV(%)	6,04				

7) Análise de variância para a característica de peso de massa seca de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Boro	1	0,3995	0,3995	1734	0,000*
Sacarose	2	0,0004	0,0002149	0,9326	0,395 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	0,0384	0,01922	83,4	0,000*
Boro : Sacarose	2	0,0008	0,0003787	1,644	0,195 <sup>ns</sup>
Boro : Área Foliar	2	0,0004	0,0001901	0,825	0,439 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	0,0007	0,0001686	0,7319	0,571 <sup>ns</sup>
Boro: Sacarose : Área Foliar	4	0,0004	0,0000	0,4244	0,791 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	0,0622	0,0002304		
Total	287	0,5028			
CV(%)	7,36				

**ANEXO 2 – Tabelas de análise de variância do experimento 2**

1) Análise de variância para a característica de altura de plantas de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	579	579	824,6	0,0000*
Sacarose	2	0,04036	0,02018	0,02874	0,9717 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	12,62	6,308	8,983	0,0002*
Zinco : Sacarose	2	1,279	0,6393	0,9103	0,4036 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	2,652	1,326	1,888	0,1533 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	5,839	1,46	2,079	0,0838 <sup>ns</sup>
Zinco: Sacarose : Área Foliar	4	6,757	1,689	2,406	0,0500*
Resíduo	270	189,6	0,7022		
Total	287	797,78			
CV(%)	8,2				

2) Análise de variância para a característica de diâmetro médio da brotação de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	2,854	2,854	46,16	0,000*
Sacarose	2	0,2019	0,101	1,633	0,197 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	0,0588	0,0294	0,4757	0,622 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose	2	0,2571	0,1286	2,08	0,127 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	0,0175	0,0087	0,1412	0,8684 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	0,2974	0,0744	1,203	0,3099 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	0,4404	0,1101	1,781	0,1329 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	16,69	0,0618		
Total	287	20,817			
CV(%)	10,17				

3) Análise de variância para a característica de número de folhas novas de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	38,28	38,28	26,76	0,000*
Sacarose	2	6,75	3,375	2,36	0,096 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	0,75	0,375	0,2622	0,770 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose	2	2,333	1,167	0,8157	0,443 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	0,0833	0,0417	0,0291	0,971 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	12,81	3,203	2,239	0,065 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	2,771	0,6927	0,4843	0,747 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	386,2	1,43		
Total	287	449,97			
CV(%)	15,97				



4) Análise de variância para a característica de volume radicular de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	5409	5409	2438	0,000*
Sacarose	2	16,5	8,25	3,718	0,026*
Área Foliar	2	490,6	245,3	110,6	0,000*
Zinco : Sacarose	2	1,294	0,6469	0,2915	0,747 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	5,663	2,832	1,276	0,281 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	16,51	4,128	1,86	0,118 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	18,85	4,713	2,124	0,078 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	599,1	2,219		
Total	287	6557,51			
CV(%)	6,0				

5) Análise de variância para a característica de área superficial de raiz de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	9684	9684	2199	0,000*
Sacarose	2	53,84	26,92	6,111	0,003*
Área Foliar	2	1572	785,8	178,4	0,000*
Zinco : Sacarose	2	10,1	5,051	1,147	0,319 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	4,917	2,459	0,5582	0,573 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	6,411	1,603	0,3639	0,834 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	16,99	4,247	0,9641	0,428 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	1189	4,405		
Total	287	12537,35			
CV(%)	3,44				

6) Análise de variância para a característica de comprimento de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	603,6	603,6	629,2	0,000*
Sacarose	2	0,9304	0,4652	0,4849	0,616 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	14,58	7,289	7,598	0,001*
Zinco : Sacarose	2	3,037	1,519	1,583	0,207 <sup>ns</sup>
Zinco : Área Foliar	2	1,281	0,6404	0,6675	0,514 <sup>ns</sup>
Sacarose : Área Foliar	4	3,368	0,842	0,8777	0,478 <sup>ns</sup>
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	3,788	0,9469	0,987	0,415 <sup>ns</sup>
Resíduo	270	259	0,9594		
Total	287	889,58			
CV(%)	9,03				

7) Análise de variância para a característica de peso de massa seca de raízes de miniestacas de café arábica

FV	GL	SQ	QM	Fc	valor - p
Zinco	1	0,7103	0,7103	1539	0,000*
Sacarose	2	0,002258	0,0011	2,446	0,089 <sup>ns</sup>
Área Foliar	2	0,05765	0,0288	62,45	0,000*
Zinco : Sacarose	2	0,003244	0,0016	3,514	0,031*
Zinco : Área Foliar	2	0,008228	0,0041	8,913	0,000*
Sacarose : Área Foliar	4	0,001899	0,0005	1,029	0,393*
Zinco : Sacarose : Área Foliar	4	0,005908	0,0015	3,2	0,014*
Resíduo	270	0,1246	0,0005		
Total	287	0,9140			
CV(%)	10,02				