



**TIAGO TERUEL REZENDE**

**EFEITO DE SACAROSE E DE FERTILIZANTE  
DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO DE  
MUDAS POR ESTACAS CAULINARES DE  
*Coffea arabica* L.**

**LAVRAS - MG**

**2013**

**TIAGO TERUEL REZENDE**

**EFEITO DA SACAROSE E DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO  
LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS POR ESTACAS CAULINARES  
DE *Coffea arabica* L.**

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

Orientador

Dr. Samuel Pereira de Carvalho

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Rezende, Tiago Teruel.

Efeito de sacarose e de fertilizante de liberação lenta na  
produção de mudas por estacas caulinares de *Coffea arabica* L. /  
Tiago Teruel Rezende. – Lavras : UFLA, 2013.

99 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Samuel Pereira de Carvalho.

Bibliografia.

1. Propagação vegetativa. 2. Modelagem estatística. 3. Estaquia.  
4. Processamento de imagens. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 633.7335

**TIAGO TERUEL REZENDE**

**EFEITO DA SACAROSE E DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO  
LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS POR ESTACAS CAULINARES  
DE *Coffea arabica* L.**

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

APROVADA em 22 de fevereiro de 2013.

Dr. Rubens José Guimarães

UFLA

Dr. Júlio Silvio de Souza Bueno Filho

UFLA



Dr. Samuel Pereira de Carvalho  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2013**

Aos meus irmãos, *José Augusto e João Paulo*, por sempre me apoiar;  
A minha avó, *Judith*, pelo incentivo e pelo exemplo de vida;  
A minha namorada, *Carol*, pelo amor, incentivo e companheirismo em todos os momentos;  
A todos os meus amigos, por terem me ajudado e estado ao meu lado durante o período no qual pudemos conviver.

Aos meus pais *João Pereira de Rezende Neto* e *Maria Eliza Teruel Rezende*, por serem os responsáveis pela realização desse sonho, por terem repassado seus princípios, valores e terem sempre participado das minhas realizações, a eles para quem devo tudo o que sou,

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pela oportunidade, força e proteção para que eu pudesse estar realizando este sonho;

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

Ao Prof. Samuel, pelo exemplo a ser seguido, pela paciência, confiança, prontidão e dedicação em repassar seus conhecimentos que tanto contribuíram na minha formação profissional e pessoal, enfim, por ter me dado essa oportunidade única da minha vida;

À Profa. Danielle Baliza, por ter me recebido no NECAF, e desde então, estar sempre me orientando com sua experiência;

Ao Prof. Júlio Bueno, pela disponibilidade e paciência durante as consultorias de estatística;

Ao Prof. Rubens, Prof. Virgílio, Sérgio Brasil, Zé Maurício, Agrimar e Alexandre, eAo Prof. Darlan Einstein do Livramento, pelas orientações na realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos .

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa que, a partir do qual resultou o presente trabalho;

Ao companheiro Dr. Marcos Roberto Dutra, pelo exemplo, pela amizade, pelas oportunidades e confiança, que muito contribuíram para a minha formação profissional.

Aos companheiros Diego Baquião, Diego Abreu, Eduardo Lima, Germana, Dalyse, Jéssyca Dias, Noêmia, Leonardo e integrantes do NECAF,

Obrigado.

## RESUMO

O aperfeiçoamento da metodologia para a produção de mudas de *Coffea arabica* L. via propagação vegetativa por estaquia, em escala comercial, torna-se importante para a sua disponibilização e adoção pelos produtores, pois possibilita a exploração comercial de híbridos que apresentem características superiores às das cultivares comerciais, o que pode representar um avanço nos programas de melhoramento genético da espécie *C. arabica*. O objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito do fornecimento gradual de nutrientes pelo fertilizante de liberação lenta e o efeito da sacarose, aplicada via foliar durante o período de enraizamento das estacas. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, oito estacas por parcela e 12 tratamentos em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses da formulação 15-09-12 de Osmocote: ausência; 1,0; 2,0 e 3,0 gramas/tubete e três concentrações de açúcar: ausência; 2,5 e 5,0 %. Utilizou-se de estacas caulinares da cultivar Acaíá Cerrado MG 1474 com cinco centímetros de comprimento e um par de folhas reduzidas à metade da área foliar. Após 138 dias da instalação do experimento foram realizadas avaliações tanto do sistema radicular quanto da parte aérea. De acordo com os resultados, observou-se que a sacarose teve efeito direto sobre o sistema radicular, aumentando a massa seca das raízes, enquanto que o osmocote teve efeito tanto no sistema radicular, aumentando principalmente a quantidade de radículas, quanto na parte aérea, proporcionando o crescimento de mudas vigorosas. A utilização de osmocote e sacarose permitiram a formação de mudas de cafeeiros por estaquia com um período de tempo equivalente ao período gasto para a formação de mudas por sementes.

Palavras-chaves: Propagação vegetativa. Processamento de imagens. Modelagem estatística.

## ABSTRACT

Perfecting *Coffea arabica* L. seedling production methodology via vegetative propagation through cutting technique, in commercial scale, is important in order to make the technique available to the producers, for it allows the commercial exploration of hybrids which present superior characteristics to the commercial cultivar. This may represent an advance in the genetic improvement programs for the *C. arabica* species. The objective of this work was to evaluate the effect of the gradual supplying of nutrients by the slow release fertilizer, and the effect of sucrose with foliar application during the rooting period of the stakes. The experiment was installed in a completely randomized design with three replicates, eight stakes per plot and 12 treatments in a 4 x 3 factorial scheme, with four doses of the formulation 15-09-12 of Osmocote: 0; 1.0; 2.0 and 3.0 grams/dibble tube and three concentrations of sugar: 0; 2.5 and 5.0%. We used stem stakes of the Acaia Cerrado MG 1474 cultivar with five centimeters of length and a pair of leaves reduced to half the foliar area. After 138 days of the experiment's installation, we performed evaluations of root system as well as of the areal part. According to the results, we observed that the sucrose presented a direct effect on the root system, increasing root dry mass, while the osmocote presented an effect on the root system, increasing especially the amount of radicels, as well as on the areal part, providing the growth of vigorous seedlings. The use of osmocote and sucrose allowed the formation of coffee seedlings via cutting, within a period of time equivalent to that spent in the formation of seedlings via seeds.

Keywords: Vegetative propagation. Image processing. Statistical Modeling.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Superfície de resposta ajustada para massa seca das raízes de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose.....	41
Figura 2	Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca das raízes em função de osmocote e sacarose.....	42
Figura 3	Equações ajustadas para volume do sistema radicular de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote e de sacarose.....	46
Figura 4	Equações ajustadas para área superficial do sistema radicular de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote e de sacarose.....	47
Figura 5	Equação ajustada para o comprimento total das raízes de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de doses de osmocote..	48
Figura 6	Box-Plot com os valores médios estimados do comprimento das raízes em diferentes classes de diâmetro, em função de osmocote ..	52
Figura 7	Box-Plot com os valores médios estimados do comprimento das raízes em diferentes classes de diâmetro, em função de sacarose ....	53
Figura 8	Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável altura média das mudas .....	55
Figura 9	Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável massa seca total das folhas.....	58
Figura 10	Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável área foliar total das folhas .....	60

Figura 11 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável massa seca das folhas novas.....	62
Figura 12 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável área foliar das folhas novas.....	64
Figura 13 Superfície de resposta ajustada para massa seca dos ramos ortotrópicos de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose .....	67
Figura 14 Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca dos ramos ortotrópicos em função de osmocote e sacarose.....	68
Figura 15 Equação ajustada para a variável altura média das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia, em função de doses de osmocote.....	69
Figura 16 Equação ajustada para diâmetro médio dos ramos ortotrópico das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de doses de osmocote.....	70
Figura 17 Box-Plot com a probabilidade estimada da permanência das duas folhas nas estacas (valor próximo a 1), uma ou nenhuma folha (valores próximo a zero) das mudas de cafeeiro obtidas por estacas.....	71
Figura 18 Box-Plot com os valores médios estimados da variável número total de folhas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote.....	72
Figura 19 Box-Plot com os valores médios estimados para a variável número total de folhas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote.....	73
Figura 20 Equação ajustada para a variável massa seca total das folhas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote .....	74

Figura 21	Equação ajustada para a variável massa seca das folhas novas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote .....	75
Figura 22	Equação ajustada para a variável área foliar total das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote.....	76
Figura 23	Equação ajustada para a variável área foliar das folhas novas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote .....	77
Figura 24	Superfície de resposta ajustada para massa seca total de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose.....	79
Figura 25	Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca total de das mudas em função de osmocote e sacarose .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo da análise da variância para a variável massa seca das raízes (g/planta).....	36
Tabela 2	Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para a variável massa seca das raízes, com seus erros padrões e teste da hipótese para $\beta_i = 0$ .....	36
Tabela 3	Resumo da análise da variância para a variável volume das raízes (cm <sup>3</sup> /planta) e para os modelos de regressão .....	38
Tabela 4	Resumo da análise da variância para a variável área superficial das raízes (cm <sup>2</sup> /planta) e para os modelos de regressão .....	38
Tabela 5	Resumo da análise da variância para a variável comprimento total do sistema radicular (cm/planta) e para os modelos de regressão .....	39
Tabela 6	Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão para as variáveis volume (VSR), área superficial (ASR) e comprimento total do sistema radicular (CSR), com seus erros padrões e teste da hipótese para $\beta_i = 0$ .....	40
Tabela 7	Resumo das análises da variância para as variáveis comprimento de raízes com diâmetro < 0,5 mm, entre 0,5-1,0 mm, entre 1,0-1,5 mm e entre 1,5-2,0 mm de mudas de cafeeiros obtidas por enraizamento de estacas, Lavras-MG, 2013 .....	51
Tabela 8	Resumo da análise da variância para a variável massa seca dos ramos ortotrópicos (g/planta). Modelo quadrático da superfície de resposta .....	54
Tabela 9	Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para massa seca das raízes, com seus erros padrões e teste da hipótese para $\beta_i = 0$ .....	54

Tabela 10	Resumo da análise da variância para a variável altura média das mudas (cm/planta).....	55
Tabela 11	Resumo da análise da variância para a variável altura média das mudas (transformada) e para os modelos de regressão .....	56
Tabela 12	Resumo da análise da variância para a variável diâmetro médio dos ramos ortotrópicos das mudas (mm/planta) e para os modelos de regressão .....	57
Tabela 13	Resumo da análise da deviance com teste de Qui-quadrado de Wald tipo 2 para as variáveis número de brotos por planta (NBP), número total de folhas (NTF), número de folhas remanescentes (NFR) e número de folhas novas (NFN) de mudas de cafeeiros obtidos por estaquia .....	57
Tabela 14	Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das folhas (g/planta) .....	58
Tabela 15	Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das folhas (transformada) e para os modelos de regressão .....	59
Tabela 16	Resumo da análise da variância para a variável área foliar total (cm <sup>2</sup> /planta).....	60
Tabela 17	Resumo da análise da variância para a variável área foliar total (transformada) e para os modelos de regressão .....	61
Tabela 18	Resumo das análises da variância para as variáveis matéria seca das folhas remanescentes (MSR) (g/planta) e área foliar remanescente (AFR) (cm <sup>2</sup> /planta) de mudas de cafeeiros obtidos por estaquia.....	61
Tabela 19	Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas novas (g/planta) .....	62
Tabela 20	Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas novas (transformada) e para os modelos de regressão .....	63

Tabela 21	Resumo da análise da variância para a variável área foliar das folhas novas (cm <sup>2</sup> /planta).....	63
Tabela 22	Resumo da análise da variância para a variável área foliar das folhas novas (transformada) e para os modelos de regressão .....	65
Tabela 23	Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão para as variáveis DMM e para as variáveis (transformadas) AMM, MST, AFT, MSN e AFN, com seus erros padrões e teste da hipótese para $\beta_i = 0$ .....	66
Tabela 24	Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das mudas (g/planta). Modelo quadrático de superfície de resposta.....	78
Tabela 25	Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para a variável massa seca total das mudas, com seus erros padrões e teste da hipótese para $\beta_i = 0$ .....	78

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Propagação vegetativa</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Fornecimento de nutrientes</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de sacarose</b> .....	22
<b>2.4</b>	<b>Modelagem estatística</b> .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
<b>3.1</b>	<b>Planejamento experimental</b> .....	29
<b>3.2</b>	<b>Mensuração das variáveis</b> .....	30
<b>3.3</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
<b>4.1</b>	<b>Sistema radicular</b> .....	35
<b>4.2</b>	<b>Parte aérea</b> .....	53
<b>4.3</b>	<b>Matéria seca total</b> .....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	82
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	83
	<b>ANEXO</b> .....	92

## 1 INTRODUÇÃO

A propagação de cafeeiros por clonagem, por meio de estaquia vem sendo utilizada há vários anos para *Coffea canephora* Pierre, devido às vantagens proporcionadas por esta técnica em relação à propagação por semente. Já em *Coffea arabica* L. a formação de novas lavouras depende basicamente de mudas oriundas da propagação por sementes, a qual é mais utilizada nesta espécie por se tratar de planta autógama, que apresenta pequena variação entre os descendentes em gerações avançadas e pelo baixo pegamento quando multiplicada vegetativamente sem tratamentos (BERGO; MENDES, 2000). Contudo, a clonagem pode ser útil também para esta espécie.

Alguns genótipos-elite de cruzamentos híbridos de *C. arabica* têm-se mostrado resistentes à ferrugem, com maturação mais uniforme, alta produtividade e porte baixo, justificando sua propagação vegetativa para o auxílio nos programas de melhoramento ou mesmo como atividade comercial, para que se consiga explorar essas características (JESUS, 2003).

Uma técnica viável para a propagação de híbridos de café (*C. arabica*) em escala é a propagação vegetativa via enraizamento de estacas, como se faz em *C. canephora*, pela qual é possível conservar características desejáveis de plantas matrizes selecionadas, como alta produção, uniformidade de maturação, alta produção nas primeiras colheitas e resistência a pragas e doenças. Contudo, a maior limitação para utilização desse processo de propagação vegetativa é o alto custo da muda, em relação à muda obtida por semente (CAPOT, 1966; FADELLI, 1999).

A propagação vegetativa por estaquia, para a espécie *C. arabica* vem sendo estudada há mais de 60 anos, no entanto, foi num período recente que se viabilizou uma metodologia eficiente para a formação de mudas clonais (JESUS, 2003).



Com o surgimento de novas tecnologias e adequações ao manejo das estacas no período de enraizamento, a clonagem está se tornando cada vez mais viável para ser disponibilizada aos produtores.

As adaptações do manejo das estacas de *C. arabica* antes e durante o processo de enraizamento é de grande importância para que se possa obter uma redução do período de formação das mudas, tornando assim esta técnica mais eficiente e viável. O fornecimento exógeno de substâncias consideradas importantes para o desenvolvimento de mudas propagadas vegetativamente, as quais se encontram em quantidades insuficientes no interior das estacas, como por exemplo, nutrientes, carboidratos, fitohormônios, pode contribuir de forma significativa para o avanço desta técnica promissora.

Neste trabalho o objetivo foi avaliar o efeito do fornecimento gradual de nutrientes pelo fertilizante de liberação lenta, aplicado no substrato de enraizamento, o efeito da sacarose aplicada via foliar durante o período de enraizamento das estacas e determinar doses adequadas destes fatores para a produção de mudas de *C. arabica* por estaquia caulinar.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A produção de mudas por via assexuada da espécie *Coffea canephora* tem sido praticada em grande escala, pois proporciona algumas vantagens em relação à produção por sementes, como por exemplo, garante a transmissão das características desejáveis da planta mãe, eleva o nível de produtividade da lavoura, uniformiza as plantas e a maturação (PAULINO; MATIELLO; PAULINI, 1985). Segundo Fonseca et al. (2007), as variedades melhoradas de *C. canephora* obtidas pelos programas de melhoramento desta espécie, têm constituído a base da renovação das lavouras no Espírito Santo. Os autores consideram ainda, que as tecnologias de propagação vegetativa, que possibilitam a reprodução fiel das características destas variedades melhoradas, são as principais responsáveis pelo aumento da produtividade da espécie *C. canephora*.

Para a espécie *Coffea arabica* L., a produção comercial de mudas, é realizada via sementes. Por ser uma espécie autógama, com aproximadamente 10% de alogamia (CARVALHO et al., 1993), as novas cultivares desta espécie, são obtidas nos programas de melhoramento genético após sucessivos ciclos de autofecundação e seleção de genótipos com características superiores. A partir do momento em que não houver mais segregação destes materiais nas gerações seguintes, ou seja, a partir da obtenção de linhagens, estas são avaliadas em diversos locais por vários ciclos produtivos, com o propósito de verificar a estabilidade, longevidade e produtividade, e então, uma nova cultivar poderá ser obtida. Este ciclo pode durar até 30 anos, o que demanda recursos e dedicação por parte dos pesquisadores.

A propagação vegetativa da espécie *C. arabica* pelo método da estaquia, é objeto de interesse em estudos desde a década de 1940, quando Inforzato (1946, 1948) estudou o emprego de hormônios no enraizamento de estacas. Desde então, vários estudos foram feitos com o objetivo de potencializar a

produção de mudas por enraizamento de estacas (BALIZA et al., 2010; BERGO; MENDES, 2000; JESUS, 2003; JESUS et al., 2010; MENDES, 1950; OLIVEIRA et al., 2010; PEREIRA et al., 2002; REZENDE et al., 2010; VILANOVA, 1959). O interesse na produção de mudas por estaquia para a espécie *C. arabica* tem se tornado crescente devido à possibilidade de produzir mudas clonais obtidas a partir de plantas híbridas oriundas dos programas de melhoramento genético, as quais possuem características superiores às das cultivares comerciais.

## 2.1 Propagação vegetativa

A propagação vegetativa de planta é bastante usada em floricultura, olericultura, fruticultura e silvicultura, principalmente na produção de mudas clonais de eucalipto. Existem vários métodos para a propagação vegetativa, contudo, para cada espécie existe um método mais adequado, considerando os aspectos morfológicos e fisiológicos.

Entre os vários métodos de propagação vegetativa, a estaquia é a mais utilizada na multiplicação de plantas frutíferas (FACHINELLO et al., 1995), de clones de eucalipto e também na multiplicação de variedades clonais de *Coffea canephora*. Mudanças morfológicas estão associadas à formação de raízes em estacas, como a formação ou não de calos, o desenvolvimento do primórdio radicular e a emergência da raiz (THOMAS; SCHIEFELBEIN, 2002). Essas mudanças dependem de fatores como o nível de fitorreguladores endógenos, presença de carboidratos, presença ou ausência de gemas dormentes e emergência de brotações (SMART et al., 2002).

Os autores Carlson (1966), Cheffins e Howard (1982a, 1982b) e Couvillon e Eres (1980) observaram que a capacidade de enraizamento, a

qualidade e quantidade de raízes nas estacas, variam de acordo com cada espécie e cada cultivar, condições ambientais e condições internas da própria planta.

A propagação vegetativa em *C. arabica* é possível e viável da mesma forma que para a espécie *C. canephora*, necessitando apenas da utilização de fitorreguladores, um ambiente com temperatura e umidade controlada. Algumas características são importantes para uma melhor eficiência do processo, como a concentração do fitorregulador (JESUS, 2003), o tipo de estaca e o corte em sua base (REZENDE et al., 2010), o comprimento da estaca (OLIVEIRA et al., 2010) e o ambiente de aclimação das mudas (BALIZA et al., 2010).

De modo geral o tipo de estaca adequado para o enraizamento depende de cada espécie, de cada cultivar e na mesma planta há ainda uma variação ao longo dos ramos, que tendem a diferir quanto ao enraizamento devido à composição química do tecido, que modifica ao longo dos ramos (FACHINELLO et al., 2005).

Para *C. arabica*, alguns estudos apontam que estacas semilenhosas localizadas na porção mediana dos ramos, proporcionam melhores resultados no processo de enraizamento (REZENDE et al., 2009; VILANOVA, 1959) o que pode estar relacionado a uma menor lignificação do tecido, em relação às estacas mais lenhosas localizadas na porção inferior dos ramos (REZENDE et al., 2010).

Nos viveiros comerciais de produção de mudas da espécie *C. canephora* são comumente utilizadas estacas com cinco centímetros de comprimento (FONSECA et al., 2007). Para *C. arabica* tem-se obtido resultados positivos com estacas de seis a dez centímetros de comprimento (BERGO; MENDES, 2000; JESUS, 2003; OLIVEIRA et al., 2010; PEREIRA et al., 2001).

O tamanho da estaca pode contribuir para o sucesso do processo de enraizamento devido a vários fatores, dentre os quais se destacam a quantidade de nutrientes, o acúmulo de carboidratos e as reservas que serão utilizados pela estaca desde o início do processo de enraizamento até o momento em que será

capaz de produzir seu próprio fotoassimilado, pelo processo fotossintético (FACHINELLO et al., 2005). No entanto, em condições de campo algumas plantas podem apresentar certas características que não permitem a obtenção de estacas com comprimentos maiores, por apresentarem um pequeno comprimento entre os nós, ou até mesmo a planta matriz pode encontrar-se debilitada durante o período de coleta, devido ao estado nutricional ou fitossanitário deficiente, comprometendo assim o sucesso do enraizamento.

Diante deste fato, algumas medidas que serão apresentadas a seguir, podem ser aplicadas para compensar o baixo vigor dos ramos ortotrópicos coletados de plantas matrizes debilitadas.

## **2.2 Fornecimento de nutrientes**

Para um bom desenvolvimento e crescimento das mudas o substrato desempenha um papel importante, sendo responsável por proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento do sistema radicular e como fonte de nutrientes e água para as mudas.

Devido à pequena capacidade volumétrica dos recipientes utilizados na produção de mudas, os substratos normalmente utilizados não conseguem fornecer as quantidades adequadas de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das mudas (ANDRADE NETO; MENDES; GUIMARÃES, 1999; COSTA et al., 2000; MÜLLER et al., 1997).

Modificando a composição do substrato utilizado na produção de mudas é possível produzir mudas de café com qualidade em tubetes. Müller et al. (1997), utilizando um substrato composto por vermiculita e casca carbonizada de arroz, acrescidas de doses adequadas de nitrogênio, fósforo e potássio fornecidas via irrigação, produziram mudas de boa qualidade em tubetes.

Na produção de mudas de cafeeiros em tubetes, para suplementar as necessidades nutricionais pode-se fazer uso da aplicação de nutrientes por meio de fertirrigação. É uma técnica promissora, mas ainda pouco investigada na produção de mudas em tubetes, necessitando-se verificar sua viabilidade técnica e econômica (BARBIZAN et al., 2002).

Devido à frequência de irrigação, a formulação básica do substrato não é suficiente para fornecer nutrientes durante todo o ciclo da muda de cafeiro produzida em tubete, em função da lixiviação (GONÇALVES et al., 2009; SOUZA JÚNIOR; CARMELLO; FARIA, 2008). Em decorrência disso, os nutrientes a serem fornecidos às mudas devem ser disponibilizados de acordo com a necessidade das plantas, durante o período necessário à sua formação. O uso de um adubo com liberação lenta atende a essa questão, pois fornece os nutrientes para as plantas por processo de difusão controlada, garantindo a sua disponibilização de forma adequada às exigências das plantas. Ao absorver os nutrientes, as raízes causam uma depleção na sua concentração nas proximidades da zona radicular, induzindo a um processo de liberação de nutrientes por osmose (TOMASZEWSKA; JAROSIEWICZ; KARAKULSKI, 2002), podendo assim ser adequado para a produção de mudas de café em tubetes, com a qualidade exigida para a comercialização (MARANA et al., 2008).

O fertilizante de liberação lenta possui grânulos constituídos por uma mistura de macro e micronutrientes solúveis, que são revestidos por uma resina de material orgânico que controla a liberação dos nutrientes em função da temperatura e umidade do substrato, por um período de três a seis meses (GONÇALVES et al., 2009).

O trabalho realizado por Marana et al. (2008) mostrou que em tubetes de 120 mL, independentemente do substrato utilizado, a adubação com  $10 \text{ Kg.m}^{-3}$

de adubo de liberação lenta garantiu o crescimento e o desenvolvimento adequado das mudas de café.

Para a formação de mudas da espécie *C. arabica* por estaquia é necessário manter o ambiente com umidade relativa alta, acima de 85% para que não ocorra à desidratação dos tecidos foliares, e conseqüentemente, a queda das folhas remanescentes que são responsáveis pelo fornecimento de nutrientes e carboidratos para a formação do sistema radicular (JESUS, 2003; SOUZA JÚNIOR; CARMELLO; FARIA, 2008). Para tal, utiliza-se na casa de vegetação um sistema automático de irrigação do tipo nebulização, que é acionado quando a umidade relativa do ar fica abaixo dos 85% (JESUS, 2003). Contudo a umidade alta pode favorecer a rápida lixiviação de nutrientes do substrato, mesmo aqueles fornecidos por adubos de liberação gradual.

### **2.3 Fornecimento de sacarose**

Um dos fatores que influenciam o enraizamento das estacas é a quantidade de nutrientes e de carboidratos endógenos presentes nas mesmas, principalmente no início do desenvolvimento do primórdio radicular e na emissão de novos brotos e folhas. O baixo conteúdo de carboidratos endógenos pode ser um fator limitante durante o processo de enraizamento, podendo dessa forma o suprimento exógeno contribuir benéficamente, por constituir fonte de energia necessária para a divisão celular e emissão das raízes adventícias (CHALFUN et al., 1992; PIO et al., 2008).

Janick (1966) relata que níveis mais elevados de carboidratos estão diretamente relacionados ao maior crescimento do sistema radicular das estacas. Segundo Fachinello et al. (2005), reservas mais abundantes de carboidratos correlacionam-se com maiores porcentagens de enraizamento e sobrevivência das estacas que foram tratadas com a auxina, sendo que esta relaciona-se à

indução de raízes, que por sua vez, requerer uma fonte de carbono para a biossíntese de ácidos nucleicos e proteínas. No entanto Leakey e Coutts (1989) não observaram nenhuma relação significativa entre o enraizamento de *Triplochiton scleroxylon* e o teor de carboidratos que estavam presentes no dia do preparo das estacas, sugerindo que o enraizamento é dependente de carboidratos que são formados e utilizados depois do preparo das estacas.

O efeito benéfico da sacarose durante o processo de enraizamento pode estar relacionado com a forma de fornecimento de carboidratos às estacas. Jesus (2003) não observou efeito da sacarose fornecida às estacas antes do enraizamento, realizando o fornecimento por imersão da base das estacas em uma solução de sacarose ( $30 \text{ g.L}^{-1}$ ) por três horas.

Em mudas de café com baixas concentrações de carboidratos, Silva et al. (2003) observaram que a aplicação de sacarose via foliar a 1,0% aumentou a concentração de açúcares solúveis totais das folhas e a sua utilização, pois a atividade das enzimas invertases neutra e ácida do vacúolo aumentaram. Os autores concluíram que a pulverização foliar de cafeeiros com sacarose apenas é eficiente em plantas com baixo estoque de carboidratos, e que depende da concentração utilizada, pois em plantas com concentrações adequadas, não houve aumento do teor de açúcares solúveis totais e não houve diferença da atividade das enzimas invertases neutra e ácida do vacúolo antes e após a aplicação de sacarose.

Para demonstrar a mobilização da sacarose, Castro (1979) aplicou entre 10 e 20 mM de sacarose exógena no espaço livre foliar e observou que a sacarose, além de seletiva, é ativamente carregada para o interior das nervuras terminais do floema na mesma velocidade da observada no carregamento dos assimilados produzidos pela fotossíntese. Aplicando-se sacarose marcada com carbono-14, em uma única folha de fumo (*Nicotiana tabacum*), o autor observou que a sacarose movia-se em quantidades relativamente grandes para o interior do



caule e de folhas em desenvolvimento, e que somente pequenas porções eram detectadas nas folhas maduras da planta. Quando Castro (1979) realizou uma aplicação foliar de açúcar, verificou que o movimento de compostos marcados com carbono-14 a partir das folhas, dava-se predominantemente em direção às raízes durante o período noturno. No entanto, a uma intensidade luminosa de aproximadamente 8000 lux a maior parte da translocação ocorria em direção à região apical em crescimento.

No cultivo *in vitro* há consumo de energia para que ocorra a formação das raízes. Esta pode ser oriunda da fotossíntese ou de outra fonte, como pelo fornecimento exógeno de açúcar. Grout (1988) agrupou as plantas cultivadas em meio asséptico em duas classes. Na primeira são agrupadas as plantas cujas folhas formadas não desenvolvem capacidade fotossintética, se crescerem em meio contendo sacarose (heterotróficas e mixotróficas). Na segunda classificação encontram-se as plantas que apresentam uma taxa fotossintética significativa, apesar das condições artificiais do cultivo *in vitro*. Neste caso, o carbono exógeno no meio de cultivo serve como fonte de energia, influenciando na fisiologia da planta, diferenciação e crescimento dos tecidos, indução e diferenciação de órgãos das plantas que não apresentam um bom aparato fotossintético nas condições do cultivo (CALVETE; KÄMPF; SUZIN, 2002). Para a maioria das espécies as raízes são formadas com a adição de 20-30 g.L<sup>-1</sup> de sacarose no meio de cultivo (GEORGE, 1996).

Na propagação vegetativa da espécie *Coffea arabica* por estaquia, as condições para o processo fotossintético não são as ideais, visto que as estacas terão apenas um par de folhas reduzidas à metade, para possibilitar adaptação às condições da casa de vegetação, um ambiente com pouca luminosidade. Isso gera várias mudanças nas estruturas internas das folhas, o que pode diminuir a eficiência do processo fotossintético em fornecer carboidratos à estaca, impedindo o desenvolvimento e crescimento da nova planta devido à falta de

energia para os processos metabólicos relacionados ao processo de enraizamento.

## **2.4 Modelagem estatística**

No início do Século 20 surgiram os fundamentos da análise estatística de experimentos a partir dos trabalhos de Ronald Fisher. Matemático, Fisher desenvolveu várias técnicas e conceitos da estatística durante o período que foi chefe do departamento de estatística da Rothamsted Experimental Station, um instituto pioneiro de pesquisas agropecuárias da Inglaterra. Em 1925, Fisher desenvolveu uma das técnicas estatísticas mais difundidas e utilizadas, a análise de variância (ANOVA) com implicações na estimação de componentes de variância e delineamentos experimentais, destacando o papel da repetição, da casualização e do controle local na eficiência dos experimentos (FISHER, 1948; KEMPTHORNE, 1952). Desde então, as técnicas estatísticas vem evoluindo, tornando-se cada vez mais apropriadas à natureza dos dados, que muitas vezes, possuem alguma restrição que impede o uso de determinado procedimento estatístico.

Os modelos matemáticos são utilizados para medir a influência das variáveis independentes sobre a variável resposta, estabelecendo assim uma relação. Mas sem a aplicação de um teste de hipótese sobre as estimativas dos parâmetros desse modelo, não se pode tirar conclusões a respeito dos efeitos das variáveis independentes sobre a variável resposta.

O modelo linear clássico, com o método dos mínimos quadrados, e a análise de variância e de regressão, têm sido as técnicas estatísticas mais difundidas para estabelecer a relação entre as variáveis de um experimento. No entanto, para seu uso algumas condições têm que ser observadas, caso contrário

pode-se obter conclusões equivocadas a respeito dos resultados do experimento (NETER et al., 1996).

São quatro os pressupostos da análise de variância: aditividade dos efeitos do modelo, normalidade dos erros, independência dos erros e homocedasticidade de variância dos erros.

A não normalidade dos erros afeta o nível nominal de significância dos testes estatísticos, de forma que o nível escolhido não é assegurado na prática, podendo ser constatadas diferenças significativas entre tratamentos que, em realidade, não são diferentes (RESENDE, 2007). No entanto, o teste F é robusto a pequenos desvios da normalidade dos erros, fornecendo resultados satisfatórios quando se verificam distribuições aproximadamente normais.

Um adequado planejamento experimental pode garantir a independência dos resíduos, desde que a coleta dos dados não seja realizada mais de uma vez na mesma parcela experimental, pois caso contrário, quando há coleta de dados sequenciais no tempo ou no espaço, pode haver dependência entre os resíduos, pois são gerados dados temporalmente ou espacialmente dependentes (CHARNET et al., 2008; RESENDE, 2007).

A violação de homogeneidade de variâncias eleva o nível de significância do teste F acima do especificado (CONAGIN et al., 1993) e no caso da distribuição dos erros ser leptocúrtica, a qual apresenta um coeficiente de curtose maior que três e uma concentração de valores próxima ao valor central maior que a distribuição normal, o teste F tende a não rejeitar a hipótese da nulidade, quando ela é falsa (SCHEFFÉ, 1959).

Quando houver alguma restrição em relação aos pressupostos, há duas opções a ser seguida, segundo Siqueira (1983), uma delas seria a busca de novos métodos de análise que se ajusta melhor aos dados, e uma segunda opção, seria adequar os dados às pressuposições por meio de uma transformação.

A escolha da transformação pode ser trabalhosa e não apresentar o resultado esperado. Segundo Siqueira (1983), existe na literatura muitas sugestões práticas de se escolher a transformação a ser utilizada, mas o procedimento adotado deve depender do objetivo da transformação, isto é, se o objetivo é obter a normalidade, a homogeneidade de variâncias dos erros ou a aditividade do modelo. No entanto a transformação dos dados pode não ser efetiva para adequá-los aos pressupostos da análise de variância. Outra opção é o uso de outros modelos de análise que se ajustem melhor aos dados, como os modelos lineares mistos, modelos lineares generalizados e modelos lineares mistos generalizados, entre outros.

Um procedimento de transformação proposto por Box e Cox (1964) produz uma transformação por potência da variável resposta tal que as pressuposições da homocedasticidade e normalidade do modelo estatístico da análise de variação sejam simultaneamente satisfeitas. A potência a ser utilizada na transformação é estimada pela máxima verossimilhança (SIQUEIRA, 1983).

Os modelos lineares generalizados propostos por Nelder e Wedderburn (1972) consideram outras distribuições (família exponencial) que não a normal, e não consideram a variância constante, neste caso, esta pode ser função da média e a linearidade é obtida por uma função que faz a ligação entre a média da variável resposta e o preditor linear das variáveis independentes.

Nos modelos lineares generalizados a estimativa dos coeficientes do modelo é obtida com a maximização da função de log-verossimilhança. No caso da distribuição da família exponencial não ser adequada para representar a variável resposta, há um método para estimar os coeficientes que é o da maximização da função de quase-verossimilhança e neste caso, não é necessário definir a distribuição de probabilidade, apenas define-se uma função entre a média e a variância da variável resposta (MCCULLAGH; NELDER, 1989; NELDER; WEDDERBURN, 1972).

Dados binomiais podem apresentar uma variância nas respostas superior à variância nominal da distribuição binomial comportada pelo modelo, que é denominada de variação extra-binomial ou superdispersão. Uma alternativa para resolver este problema é a incorporação de efeitos aleatórios no preditor linear, os chamados modelos lineares generalizados mistos. Estes modelos fundamentam-se numa extensão da teoria dos modelos mistos para dados com distribuições pertencentes à família exponencial, assumindo-se uma distribuição particular para os efeitos aleatórios (GILMOUR; ANDERSON; RAE, 1985; HINDE; DEMÉTRIO, 1998; NUNES; MORAIS; BUENO FILHO, 2004).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG.

O experimento foi instalado em casa de vegetação equipada com microaspersores, com controle automático da umidade relativa do ar (entre 85 a 90%) e da temperatura (24 °C).

Para a obtenção do material propagativo utilizou-se estacas sadias de ramos ortotrópicos da cultivar Acaiá Cerrado MG 1474, com cerca de cinco centímetros de comprimento, obtidas de ramos ortotrópicos de plantas matrizes com cerca de 10 anos de idade, localizadas na área experimental da Universidade Federal de Lavras.

#### **3.1 Planejamento experimental**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, oito estacas por parcela e 12 tratamentos em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de Osmocote: ausência; 1,0; 2,0 e 3,0 gramas/tubetes e três concentrações de açúcar: ausência; 2,5 e 5,0%. Os tratamentos foram constituídos por todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores.

Utilizou-se a formulação 15-09-12 + 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo do fertilizante Osmocote Plus®. A aplicação foi realizada toda no momento da mistura do substrato de enraizamento.

A aplicação da solução de sacarose foi realizada no período de 21 em 21 dias, a partir da instalação do experimento. O açúcar foi diluído em água nas concentrações acima citadas.

A preparação das estacas foi feita segundo Jesus (2003), de forma a terem um par de gemas vegetativas e um par de folhas cortadas a 1/2 de sua área. Como tratamento fitossanitário as estacas foram mergulhas em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dez minutos e posteriormente, lavadas para retirar o excesso da solução. As bases das estacas foram imersas em talco contendo o Ácido-Indol-Butírico (AIB) na concentração de 4.000 mg/L, e então colocadas em tubetes de 120 ml contendo substrato de areia:vermiculita na proporção de 1:1 mais as doses de Osmocote Plus<sup>®</sup>.

Durante a condução do experimento foram realizadas duas aplicações do fungicida a base de tiofanato-metílico (Cercobin<sup>®</sup>) a 0,002% e bactericida a base de Oxitetraciclina (Agrimaicin 500<sup>®</sup>) a 0,002%, sendo a primeira após a instalação do experimento e a segunda após 30 dias.

### **3.2 Mensuração das variáveis**

Aos 138 dias após a instalação o experimento foi encerrado, e na ocasião foram feitas as coletas dos materiais para as avaliações. Antes da destruição da planta para a quantificação da biomassa seca, foram realizadas as seguintes avaliações individuais:

- a) Número de folhas totais (NFT);
- b) Número de folhas novas (NFN), considerando-se as folhas emitidas após a instalação do experimento;
- c) Número de folhas remanescentes (NFR);

- d) Altura média das mudas (AMM). Para a obtenção desta variável, mediu-se o comprimento de cada um dos ramos ortotrópicos das mudas que tinham dois ramos e considerou-se a média e para as mudas que apresentaram apenas um ramo ortotrópico, considerou-se o seu valor para a análise estatística;
- e) Diâmetro médio dos brotos (DMB). Obtido da mesma forma para a altura média das mudas;
- f) Número de brotos por planta (NBP).

A seguir, as folhas foram destacadas das plantas e colocadas em sacos de papel identificados com o número da planta e da parcela.

Após a remoção das folhas, as mudas foram retiradas do tubete, tomando o cuidado para não danificar o sistema radicular e foram colocadas em uma bandeja com água, na qual o substrato ao ficar em contato com a água, desestruturou-se com facilidade, e então a planta foi colocada sobre uma peneira e o restante de areia e vermiculita foi separada das raízes com água corrente. Neste momento, os ramos ortotrópicos foram separados do sistema radicular e colocados em sacos de papel identificado. As raízes depois de lavadas foram acondicionadas em sacos de papel também identificados, assim como os ramos ortotrópicos.

Com o auxílio de um scanner modelo HP AIO D110, foram processadas imagens digitalizadas das folhas e das raízes. Para tal, as folhas de cada planta foram colocadas sobre o scanner, com o devido cuidado de não sobrepor uma folha sobre outra, e então gerada imagens tipo JPEG com resolução de 300 dpi. O mesmo procedimento foi feito com as raízes.

Após o processamento das imagens as folhas, raízes e ramos ortotrópicos foram acondicionados separadamente, em sacos de papel identificados com o número da planta e da parcela e levadas para estufa de



circulação de ar forçada a 65°, onde permaneceram até atingirem peso constante da biomassa e posteriormente, com o uso de uma balança analítica modelo BG 2000 com precisão 0,01 g, foram obtidos os pesos das massas secas das seguintes variáveis:

- g) Massa seca das raízes (MSSR);
- h) Massa seca dos ramos ortotrópicos (MSO);
- i) Massa seca das folhas remanescente (MSR);
- j) Massa seca das folhas novas (MSN);
- k) Massa seca total das folhas (MSF);
- l) Massa seca total por muda (MST);

As imagens processadas das folhas foram analisadas com o software de distribuição livre ImageJ, com a metodologia descrita por Somavilla e Ribeiro (2011), gerando uma planilha de dados contendo o valor das seguintes variáveis respostas:

- m) Área foliar total (AFT);
- n) Área foliar das folhas remanescentes (AFR);
- o) Área foliar das folhas novas (AFN);

As imagens das raízes foram analisadas com o software de distribuição livre Safira (JORGE; SILVA, 2010), desenvolvido pela Embrapa Instrumentação. Foi obtida uma planilha com os dados referentes às seguintes variáveis respostas:

- p) Volume das raízes (VSR);
- q) Área superficial das raízes (ASR);

- r) Comprimento do sistema radicular (CSR);  
O comprimento das raízes nas seguintes classes de diâmetro:
- s) Diâmetro < 0,5 mm (DM1);
- t) Diâmetro entre 0,5 - 1,0 mm (DM2);
- u) Diâmetro entre 1,0 - 1,5 mm (DM3);
- v) Diâmetro entre 1,5 - 2,0 mm (DM4);

### 3.3 Análises estatísticas

Foram ajustados modelos lineares e realizada análise de variância e o teste F para verificar se os efeitos de osmocote, sacarose e/ou a interação entre ambos, foram significativos. Para os efeitos significativos foram ajustados modelos de regressão que fossem capazes de descrever a relação entre a variação da variável resposta com a variação das doses de osmocote e/ou sacarose. Ajustaram-se modelos de regressão com até dois parâmetros para osmocote e com um parâmetro para sacarose, a fim de deixar um grau de liberdade para o teste da falta de ajuste, que avalia se o modelo proposto é adequado para descrever a relação entre as variáveis. As análises estatísticas foram realizadas pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

As análises de variância e os ajustes de regressão polinomial foram realizados com a função *fat2.crd()* da biblioteca *ExpDes* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011), para os ajustes das regressões não polinomiais, foram especificados os modelos com a função *lm* da biblioteca *stats* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e os coeficientes, o desvio padrão e os testes de hipóteses foram obtidos por meio da função *summary()* e nestes casos, foram feitas as correções do F calculado e valores-*p* das análises de regressão e do erro padrão, t calculado e valores-*p* dos parâmetros das regressões.

Para a massa seca das raízes, massa seca dos ramos ortotrópicos e massa seca total das mudas, foram ajustadas superfícies de respostas com todos os termos possíveis e então foi retirado um termo de cada vez e procedeu-se ao teste da falta de ajuste. Para os termos nos quais a falta de ajuste foi não significativa, os mesmos foram retirados até a obtenção de um modelo contendo apenas os termos que contribuem significativamente para explicar a variação da variável resposta em função da variação dos níveis de cada tratamento.

Para as variáveis quantitativas contínuas AMM, MSF, AFT, MSN e AFN que não apresentaram adequação aos pressupostos da análise de variância, estas foram transformadas de acordo com a metodologia de Box-Cox (BOX; COX, 1964) por meio da função *boxcox()* da biblioteca *MASS* (VENABLES; RIPLEY, 2002). A verificação dos pressupostos da análise de variância foi verificada pela análise gráfica dos resíduos pela função *plot.lm()* da biblioteca *stats*, os gráficos não são apresentados neste trabalho, mas podem ser reproduzidos pelas linhas de comando que são apresentadas no Anexo I.

Para as variáveis quantitativas discretas NBP, NTF, NFR e NFN que não apresentaram adequação aos pressupostos, mesmo após a transformação dos dados, foram ajustados modelos lineares mistos generalizados pela função *glmer()* da biblioteca *lme4* (BATES; MAECHLER; BOLKER, 2012) e a análise de desvio pela função *Anova()* da biblioteca *car* (FOX; WEISBERG, 2011) para verificar a significância ou não de cada efeito.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Inicialmente serão apresentados os resultados referentes ao sistema radicular. Em seguida serão abordadas as questões relativas à parte aérea e por fim será apresentada a análise da massa seca total das mudas.

### **4.1 Sistema radicular**

a) Massa seca, volume, área superficial e comprimento do sistema radicular.

O resumo da análise da variância para a variável massa seca das raízes de mudas obtidas por estaquia é apresentado na Tabela 1, assim como a análise da variância da superfície de resposta ajustada.

Tabela 1 Resumo da análise da variância para a variável massa seca das raízes (g/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
(Tratamento)	(11)	(0,0157)	(0,0014)	(4,1284)	(0,0018)
Osmocote	3	0,0069	0,0023	6,6307	0,0020
Sacarose	2	0,0029	0,0015	4,2525	0,0263
Osm*Sac	6	0,0059	0,0010	2,8360	0,0313
(Modelo)	(7)	(0,0136)	(0,0019)	(5,6115)	(0,0006)
Osm	1	0,0021	0,0021	6,0014	0,0220
Sac	1	0,0010	0,0010	2,8914	0,1020
Osm <sup>2</sup>	1	0,0045	0,0045	13,0133	0,0014
Sac <sup>2</sup>	1	0,0019	0,0019	5,6132	0,0262
Osm <sup>3</sup>	1	0,0003	0,0003	0,8775	0,3582
Osm <sup>2</sup> *Sac <sup>2</sup>	1	0,0007	0,0007	2,0831	0,1619
Osm <sup>3</sup> *Sac <sup>2</sup>	1	0,0030	0,0030	8,8005	0,0067
Falta de Ajuste	4	0,0021	0,0005	1,5331	0,2244
Resíduo	24	0,0083	0,0003		
Total	35	0,0240			

CV = 21,66%

Nota: Modelo cúbico de superfície de resposta. Lavras - MG, 2013.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes dos parâmetros da equação da superfície de resposta com os respectivos erros padrões.

Tabela 2 Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para a variável massa seca das raízes, com seus erros padrões e teste da hipótese para  $\beta_i = 0$

Parâmetro	GL	Estimativas	Erro padrão	t <sub>c</sub>	Pr> t
$\beta_0$	1	0,0653	0,0088	7,4493	0,0000
$\beta_1$	1	0,0606	0,0238	2,5510	0,0175
$\beta_2$	1	0,0150	0,0055	2,7478	0,0112
$\beta_3$	1	-0,0487	0,0218	-2,2351	0,0350
$\beta_4$	1	-0,0038	0,0011	-3,3670	0,0026
$\beta_5$	1	0,0098	0,0050	1,9716	0,0603
$\beta_6$	1	0,0017	0,0005	3,1512	0,0043
$\beta_7$	1	-0,0005	0,0002	-2,9665	0,0067

Nota: Lavras - MG, 2013.

Os resumos das análises da variância e da regressão para as variáveis volume do sistema radicular, área superficial das raízes e comprimento do sistema radicular são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

Para as variáveis VSR e ASR procedeu-se ao ajuste do modelo de regressão polinomial e recíproca, para o fator osmocote e para o fator sacarose ajustou-se o modelo cosseno (Tabelas 3 e 4, respectivamente). O modelo quadrático para o fator osmocote foi significativo, mas não pode ser considerado, pois o teste da falta de ajuste foi significativo, em ambas as variáveis. O modelo recíproco foi significativo e o teste da falta de ajuste não foi significativo, tanto para VSR quanto para ASR. Este modelo explicou aproximadamente 91 e 88% da variação das doses osmocote sobre a variação do VSR e da ASR, respectivamente. Para a sacarose, o modelo de regressão cosseno foi significativo e pode ser utilizado para explicar as variações de ambas as variáveis, devidas à variação das concentrações de sacarose, explicando cerca de 85 e 81% da variação total do VR e da ASR, respectivamente.

Tabela 3 Resumo da análise da variância para a variável volume das raízes (cm<sup>3</sup>/planta) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Tratamento)	(11)	(0,2883)	(0,0262)	(5,7708)	(0,0002)	
(Osmocote)	(3)	(0,1975)	(0,0658)	(14,4958)	(0,0000)	
Linear	1	0,1009	0,1009	22,2100	0,0001	0,51
Falta de ajuste	2	0,0966	0,0483	10,6400	0,0005	
Quadrático	1	0,0742	0,0742	16,3300	0,0005	0,89
Falta de ajuste	1	0,0225	0,0225	4,9500	0,0358	
Recíproco	1	0,1798	0,1798	39,5830	0,0000	0,91
Falta de ajuste	2	0,0177	0,0089	1,9510	0,1640	
(Sacarose)	(2)	(0,0441)	(0,0221)	(4,8555)	(0,0170)	
Cosseno	1	0,0374	0,0374	8,2410	0,0080	0,85
Falta de ajuste	1	0,0067	0,0067	1,4690	0,2370	
(Osm*Sac)	(6)	(0,0467)	(0,0078)	(1,7133)	(0,1611)	
Resíduo	24	0,1090	0,0045			
Total	35	0,3973				

CV = 22,54%

Nota: Lavras - MG, 2013.

Tabela 4 Resumo da análise da variância para a variável área superficial das raízes (cm<sup>2</sup>/planta) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Tratamento)	(11)	(404,6200)	(36,7836)	(5,4608)	(0,0003)	
(Osmocote)	(3)	(283,4500)	(94,4850)	(14,0264)	(0,0000)	
Linear	1	125,4615	125,4615	18,6200	0,0002	0,44
Falta de ajuste	2	157,9927	78,9963	11,7300	0,0003	
Quadrático	1	129,1133	129,1133	19,1700	0,0002	0,90
Falta de ajuste	1	28,793	28,8793	4,2900	0,0493	
Recíproco	1	248,0239	248,0239	36,8190	0,0000	0,88
Falta de ajuste	2	35,4303	17,7152	2,6300	0,0930	
(Sacarose)	(2)	(48,7400)	(24,3700)	(3,6178)	(0,0423)	
Cosseno	1	39,5767	39,5767	5,8750	0,0230	0,81
Falta de ajuste	1	9,1639	9,1639	1,3600	0,2550	
(Osm*Sac)	(6)	(72,4300)	(12,0710)	(1,7920)	(0,1433)	
Resíduo	24	161,6700	6,7360			
Total	35	566,2900				

CV = 20,61%

Nota: Lavras - MG, 2013.

Para a variável CSR, procedeu-se ao ajuste do modelo de regressão polinomial (Tabela 5). O modelo quadrático foi significativo e pode ser utilizado para explicar a variação do CR pela variação das doses do osmocote. O modelo explica aproximadamente 92% da variação total do CSR.

Tabela 5 Resumo da análise da variância para a variável comprimento total do sistema radicular (cm/planta) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Tratamento)	(11)	(7937,1000)	(721,5545)	(3,1861)	(0,0085)	
(Osmocote)	(3)	(5631,4000)	(1877,1300)	(8,2885)	(0,0006)	
Linear	1	2106,2990	2106,2990	9,3000	0,0055	0,37
Falta de ajuste	2	3525,0930	1762,5465	7,7800	0,0025	
Quadrático	1	3056,3616	3056,3616	13,5000	0,0012	0,92
Falta de ajuste	1	468,7314	468,7314	2,0700	0,1632	
(Sacarose)	(2)	(586,3000)	(293,1700)	(1,2945)	(0,2925)	
(Osm*Sac)	(6)	(1719,4000)	(286,5600)	(1,2653)	(0,3100)	
Resíduo	24	5435,4000	226,4700			
Total	35	13372,5000				
CV =25,61%						

Nota: Lavras - MG, 2013.

Na Tabela 6 são apresentados os coeficientes dos parâmetros dos modelos de regressão com os respectivos erros.



Tabela 6 Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão para as variáveis volume (VSR), área superficial (ASR) e comprimento total do sistema radicular (CSR), com seus erros padrões e teste da hipótese para  $\beta_i = 0$

Parâmetro	GL	Estimativas	Erro padrão	$t_c$	Pr> t
VSR – Osmocote					
$\beta_0$	1	0,3855	0,0178	21,7160	0,0000
$\beta_1$	1	-0,1032	0,0164	-6,2920	0,0000
VSR – Sacarose					
$\beta_0$	1	0,3060	0,0115	26,6220	0,0000
$\beta_1$	1	-0,0436	0,0152	-2,8710	0,0084
ASR – Osmocote					
$\beta_0$	1	15,8027	0,6836	23,1170	0,0000
$\beta_1$	1	-3,8323	0,6316	-6,0680	0,0000
ASR – Sacarose					
$\beta_0$	1	12,8187	0,4427	28,9580	0,0000
$\beta_1$	1	-1,4161	0,5842	-2,4240	0,0233
CSR – Osmocote					
$\beta_0$	1	39,2935	4,8893	8,0366	0,0000
$\beta_1$	1	34,4837	7,8518	4,3918	0,0002
$\beta_2$	1	-9,2141	2,5082	-3,6736	0,0012

Nota: Lavras - MG, 2013.

A superfície de resposta para massa seca do sistema radicular é apresentada na Figura 1 e o gráfico de contorno na Figura 2.

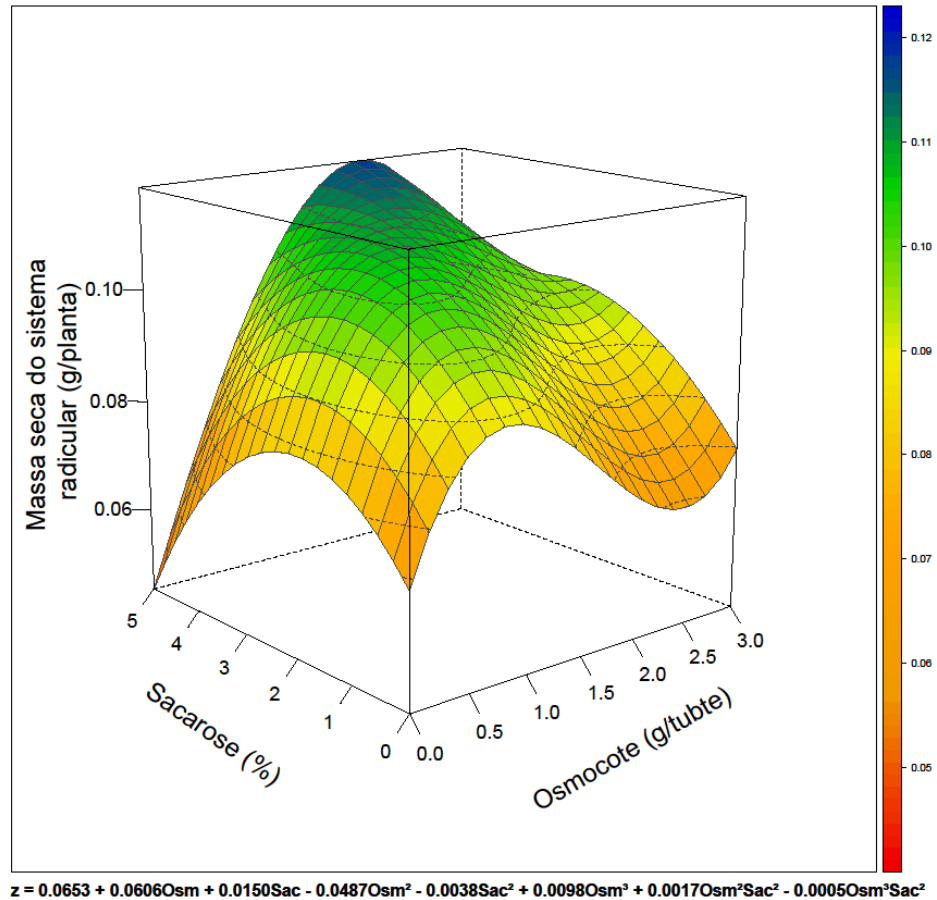


Figura 1 Superfície de resposta ajustada para massa seca das raízes de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose

Na ausência do fornecimento exógeno de sacarose, durante o enraizamento, a massa seca do sistema radicular teve o maior ganho com o fornecimento de aproximadamente 1 g/tubete de osmocote e ao se fornecer doses maiores, o ganho foi menor.

Na produção de mudas de cafeeiros por sementes em tubetes, a dose de 1g/tubete de osmocote da formulação 15-10-10 + micronutrientes tem sido recomendada por proporcionar melhor desenvolvimento das mudas

(MARCUIZZO et al., 2005; MELO; MENDES; GUIMARÃES, 1999). Para algumas características como altura de plantas, área foliar, massa seca do sistema radicular, da parte aérea e total, Marcuzzo et al. (2005) observaram um comportamento linear positivo dessas características em relação ao aumento da dose de osmocote até 1,3 g/tubete em mudas de café da cultivar Acaiá Cerrado, a qual foi a dose máxima utilizada no experimento. Os autores concluíram que o intervalo de dose que melhor proporciona o desenvolvimento das mudas é de 0,95 a 1,10 g/tubete, pois doses maiores que 1,2 g/tubete podem provocar estiolamento das plantas, o que causa desequilíbrio da relação entre a parte aérea e o sistema radicular, o que também é relatado por Kainuma et al. (2001).

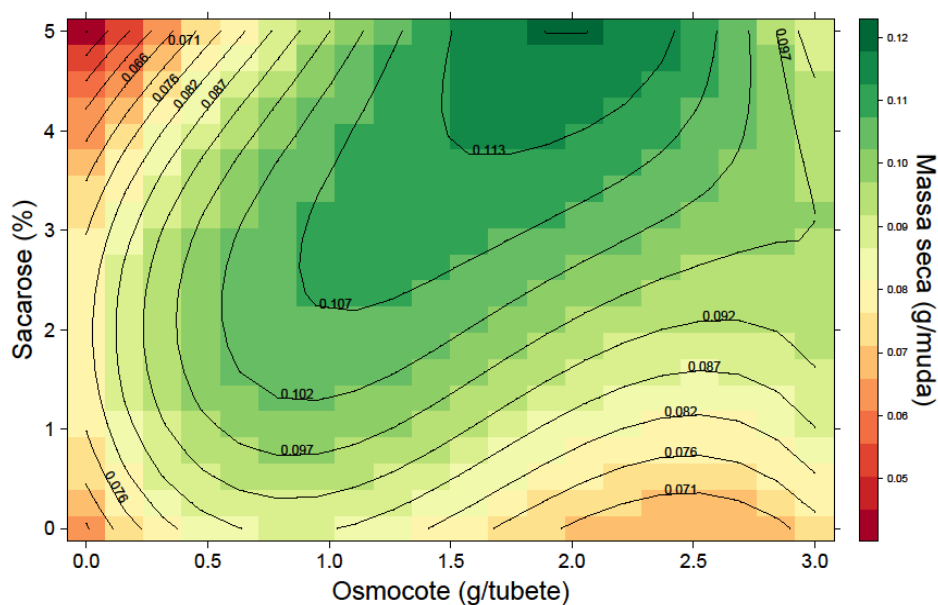


Figura 2 Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca das raízes em função de osmocote e sacarose

Em mudas cítricas alguns autores observaram que o aumento da dose de N interferiu negativamente na produção de matéria seca das raízes, e associaram

este fato a um mecanismo de adaptação das plantas, o qual permite que a planta explore um maior ou menor volume do substrato (BERNARDI; CARMELLO; CARVALHO, 2000; FORD; REUTHER; SMITH, 1957; SMITH, 1965) de acordo com a disponibilidade dos nutrientes, água e a sua necessidade.

No fornecimento de sacarose em concentrações crescentes na ausência de osmocote às mudas, a massa seca do sistema radicular teve um ganho máximo quando se forneceu sacarose a 2,5%, e posteriormente a esta concentração o ganho foi reduzido. No entanto, ao se associar o fornecimento de sacarose e osmocote, observa-se na Figura 2, que o ponto máximo de massa seca foi obtido com as doses de 2 g/tubete de osmocote e 5% de sacarose. Se a planta é capaz de desenvolver um mecanismo, o qual permite que a planta aumente ou diminua o volume de substrato explorado (BERNARDI; CARMELLO; CARVALHO, 2000; FORD; REUTHER; SMITH, 1957; SMITH, 1965) de acordo com as suas necessidades e com a disponibilidade dos nutrientes e água, pode-se observar então que neste trabalho o fornecimento de sacarose às estacas, forneceu uma fonte de energia adicional, que por sua vez possibilitou à planta um maior desenvolvimento e conseqüentemente, aumentou a necessidade da estaca por nutrientes para suprir esta demanda, o que fez com que a estaca emitisse mais raízes, aumentando o volume explorado do substrato para suprir suas necessidades, visto que a disponibilidade de nutrientes tanto na ausência de sacarose quanto para sacarose a 5% se manteve a mesma.

O fornecimento de sacarose a 5% via foliar apresentou um efeito benéfico ao enraizamento das estacas, constituindo uma fonte de energia adicional necessária para a divisão celular e emissão de mais raízes adventícias (CHALFUN et al., 1992) o que contribuiu para obter uma maior massa seca das raízes.

Na fase de aclimação de mudas de *C. arabica* obtidas por enraizamento de estacas Rezende et al. (2010) observaram que as mudas que

foram aclimatadas em viveiro tiveram maior desenvolvimento em relação às mudas que foram aclimatadas em casa de vegetação. No viveiro as mudas estavam sob um telado de sombrite de 50% e na casa de vegetação, além desde sombrite havia um filme plástico na parte superior, impedindo a penetração de parte da luz solar no interior e conseqüentemente, as mudas no viveiro captavam mais luz solar, e apresentam uma maior taxa fotossintética o que possibilitou um maior desenvolvimento destas mudas, enquanto aquelas da casa de vegetação não tinham as melhores condições para a produção de fotoassimilados, provavelmente não dispunham de energia para o seu desenvolvimento em comparação com aquelas do viveiro. Então, o fornecimento de sacarose como fonte de energia à estaca pode suprir parte da energia que a estaca necessita para o seu enraizamento e desenvolvimento.

Vários autores observaram um decréscimo no conteúdo de carboidratos após o início do enraizamento (HAISSIG, 1982; VIERSKOV; ERIKSEN, 1982) o que pode estar associado a uma menor capacidade das estacas em assimilar CO<sub>2</sub> (ORTON, 1979), reduzindo assim a taxa de fotossíntese (WIESMAN; LAVEE, 1995). Desse modo o fornecimento exógeno de sacarose via foliar pode ter suprido a necessidade da estaca por energia para um maior desenvolvimento das mudas desde o início do processo de enraizamento. No entanto Jesus (2003) não observou efeito significativo do fornecimento exógeno de sacarose no enraizamento de estacas de *C. arabica* para as variáveis analisadas. O fornecimento da sacarose nesse trabalho pode não ter sido o suficiente, visto que o fornecimento foi feito por meio da imersão da base das estacas em uma solução de sacarose (30 g.L<sup>-1</sup>) por três horas, e não houve a adição de nutriente no substrato de enraizamento, sendo realizadas apenas pulverizações foliares com nutrientes.

Trabalhando com o enraizamento de estacas apicais de figueira com o fornecimento de sacarose 2% e AIB por imersão por 24 horas Pio et al. (2008)

observaram que a utilização de sacarose junto às soluções de AIB propiciou um incremento de cerca de 25% no tamanho da raiz principal. Os autores opinaram que o suprimento exógeno da estaca com sacarose pode ter suprido certas deficiências internas da estaca em relação aos carboidratos, que poderiam estar limitando o maior desenvolvimento da raiz, o que corrobora os resultados obtidos neste trabalho.

O comprimento, a área superficial e o volume do sistema radicular possibilitam um melhor entendimento do sistema radicular, principalmente em relação à absorção de água e nutrientes pelas raízes, ou seja, em relação à capacidade de absorção do sistema radicular das plantas, o que torna importante a avaliação desses parâmetros. No entanto, são escassas na literatura informações sobre os mesmos, devido às dificuldades encontradas na mensuração destas características com as metodologias antigas (JESUS; CARVALHO; SOARES, 2006). Contudo, com o desenvolvimento de metodologias de análise de raízes por imagens, este processo está se tornando mais fácil de ser realizado, o que tende a tornar essas mensurações frequentes nos estudos do sistema radicular.

Para as variáveis VSR, ASR e CSR as equações ajustadas são apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente. Para as três variáveis, o fornecimento de osmocote às mudas proporcionou aumento até a dose de 2 g/tubete. Posterior a esta dose o ganho no aumento do VSR e ASR foi reduzido apresentando uma tendência de se manter constante e para o CSR houve um decréscimo.

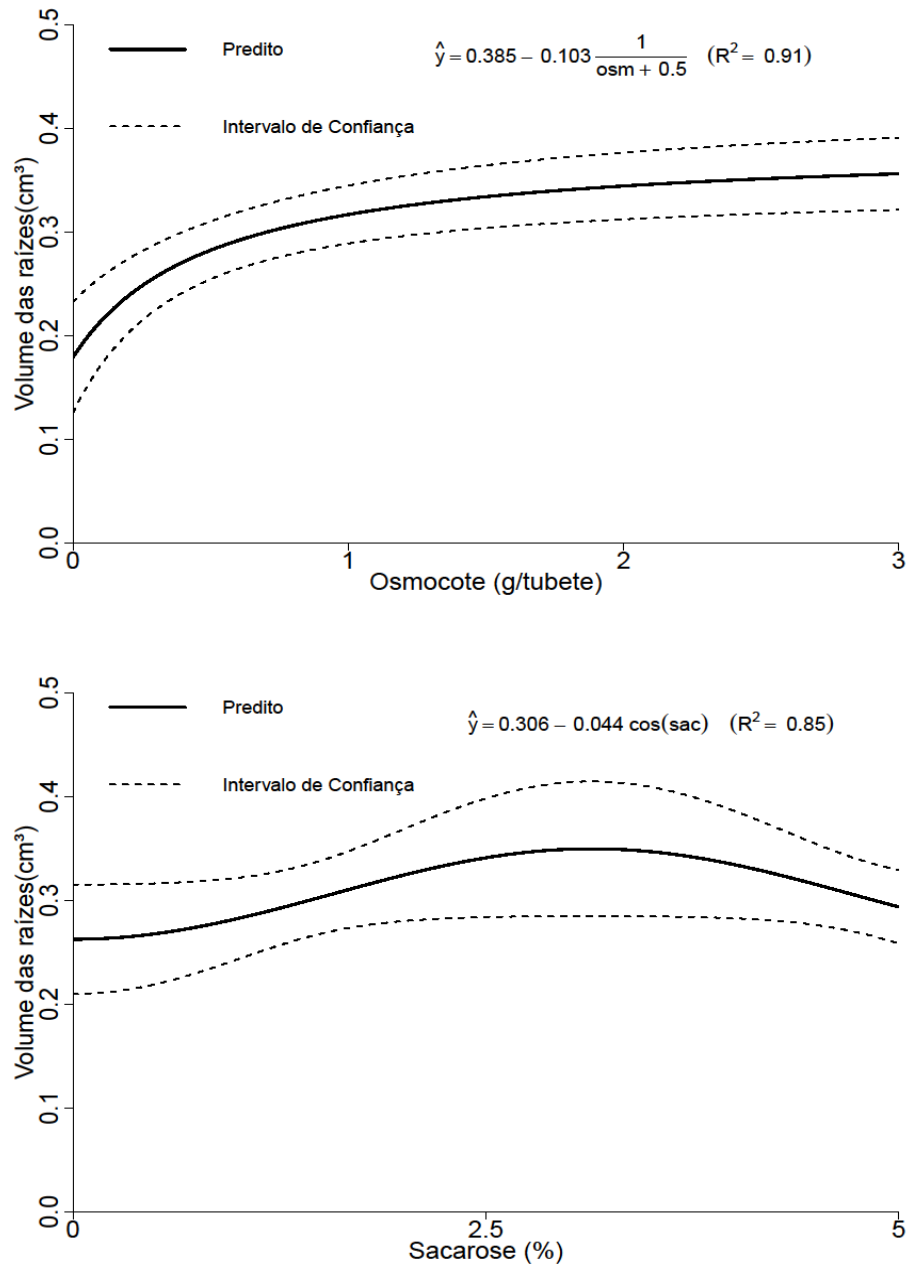


Figura 3 Equações ajustadas para volume do sistema radicular de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote e de sacarose

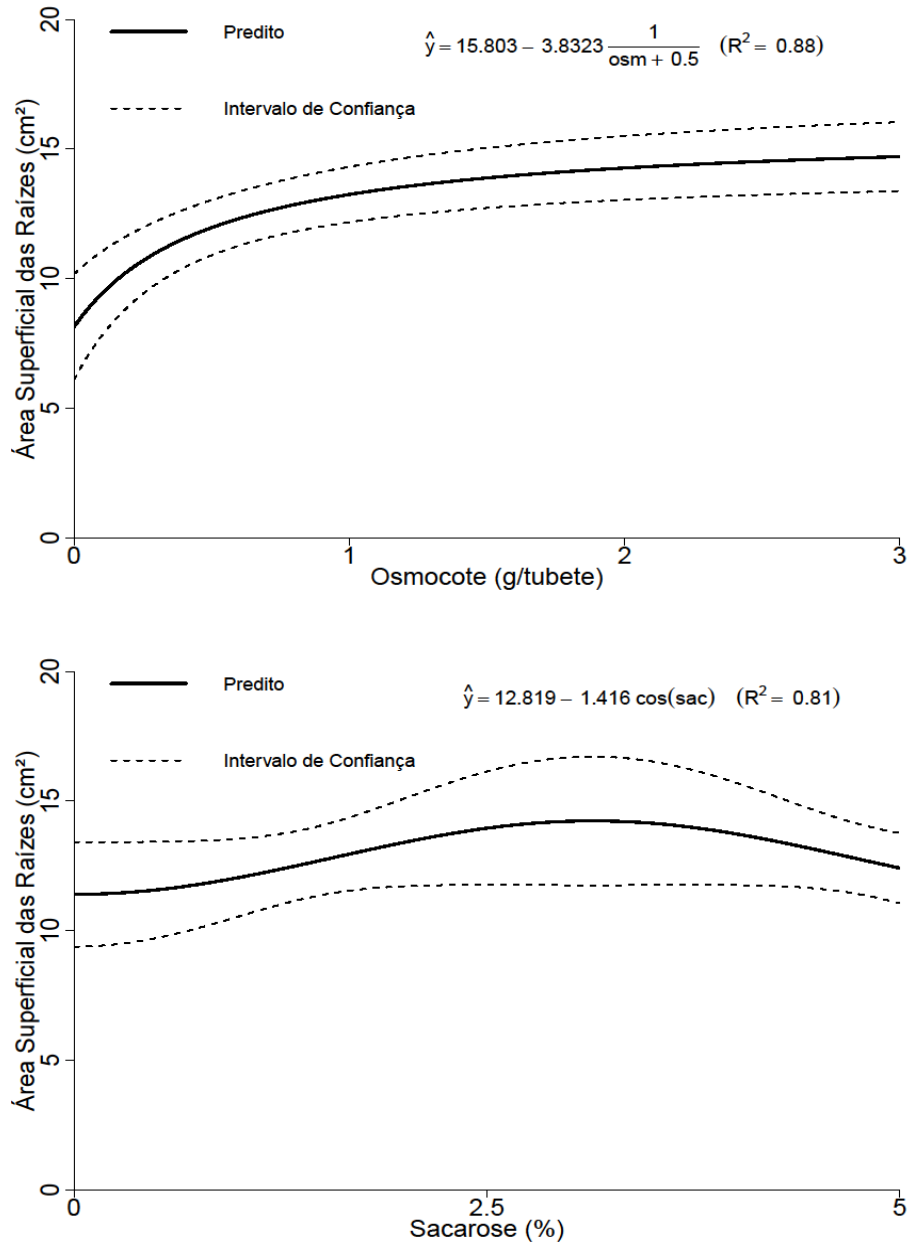


Figura 4 Equações ajustadas para área superficial do sistema radicular de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote e de sacarose



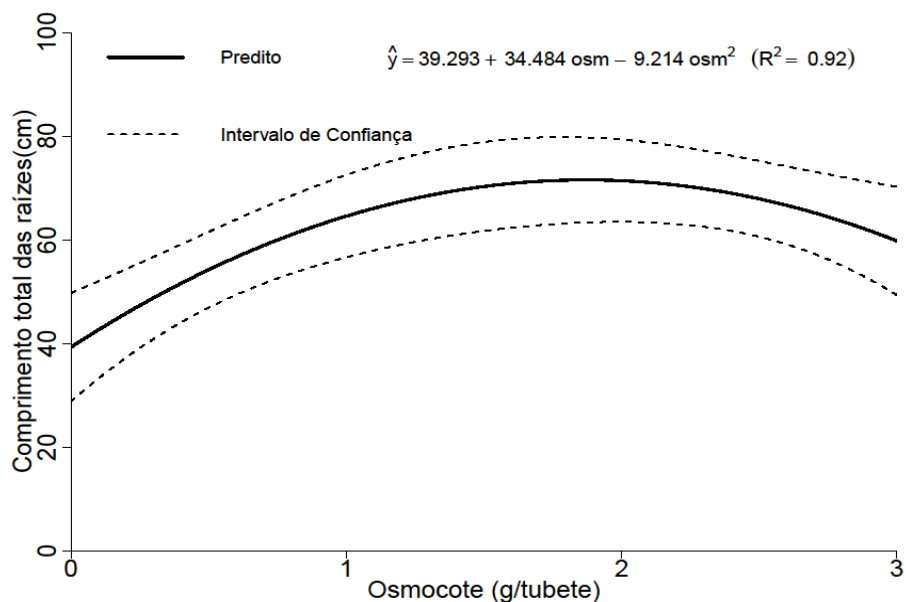


Figura 5 Equação ajustada para o comprimento total das raízes de mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de doses de osmocote

Na produção de mudas de cafeeiros por sementes em tubetes de 120 ml, Barbizan et al. (2002) estudaram o uso da fertirrigação e o uso de adubo de liberação lenta no desenvolvimento da muda e observaram que para o sistema radicular a fertirrigação não apresentou efeito, apenas teve efeito na parte aérea, enquanto que o fornecimento de nutriente pelo fertilizante de liberação lenta apresentou efeito significativo tanto para a parte aérea quanto para o sistema radicular. Os autores afirmam que esse fato pode estar relacionado ao teor de nitrogênio presente nas formulações utilizadas na fertirrigação, o que propiciou um maior desenvolvimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular.

Com a utilização de sacarose o VSR e a ASR apresentaram um ganho máximo em torno da concentração de 3,0 % (Figuras 3 e 4). Acima desta houve diminuição dos valores.

Na propagação *in vitro* a formação de raízes depende do fornecimento de energia e de carboidratos que podem ser fornecidos por meio da fotossíntese ou oriundos de fonte exógena de açúcar. No entanto, dada a baixa capacidade fotossintética nessas condições, a adição de carboidratos para suprir as necessidades metabólicas, tanto para a geração de energia ou como fonte de carbono torna-se indispensável (GEORGE, 1996; LEIFERT; MURPHY; LUMSDEN, 1995). Calvete, Kämpf e Suzin (2002) observaram aumento na produção de biomassa da raiz de morangueiros até a dose de 45 g.L<sup>-1</sup> de sacarose adicionada no meio de cultura e que doses superiores tendem a diminuir a produção de biomassa.

Apesar da diferença entre a propagação *in vitro* e propagação por estaca, em ambas as plântulas recém formadas encontram-se em um ambiente pouco favorável para a obtenção de energia via fotossíntese, devido à emissão de novas folhas que ainda não sintetizam assimilados e, no caso deste trabalho, as estacas não dispunham do fornecimento de luz artificial, desfavorecendo o processo fotossintético.

No caso da propagação por estacas o período que se estende desde o início do enraizamento até a emissão de folhas que sejam fotossinteticamente ativas, as únicas fontes de energia são as reservas de carboidratos endógenos e o fotoassimilado produzido pela fotossíntese nas folhas remanescentes das estacas, o que pode ser insuficiente devido ao intenso processo fisiológico em que a estaca se encontra durante esse período, podendo assim esgotar a energia e conseqüentemente diminuir o enraizamento. Segundo Silva et al. (2003) em mudas de café depauperadas (com baixo teor de carboidratos) a aplicação de açúcar a 1,0% proporcionou aumentos significativos no teor de açúcares solúveis totais, o que não foi observado em mudas com teor de carboidratos elevados. Os mesmos autores observaram que a atividade das invertases neutra e ácida do vacúolo foi aumentada nas mudas depauperadas e concluíram que

absorção do açúcar aplicado via foliar foi seguida pela pronta utilização, pois as atividades das invertases aumentaram.

A redução do VSR e da ASR a partir de 3% de sacarose pode estar associada ao acúmulo de açúcares nos tecidos, o que poderia contribuir para uma menor atividade metabólica da planta, devido à saturação de açúcares nos tecidos. Segundo Capellades, Lemeur e Debergh (1991) e Hdider e Desjardins (1994), na propagação *in vitro* não há fotossíntese em presença de altas concentrações de sacarose, devido ao acúmulo de amido ou à inibição da enzima Rubisco. Os autores esclarecem, porém, que em plantas cultivadas *in vitro* sob altas concentrações de sacarose a síntese reduzida dos açúcares favorece o acúmulo de carboidratos no tecido, o que pode contribuir para a redução do sistema radicular destas plantas cultivadas em meio contendo alta concentração de sacarose (CALVETE; KÄMPF; SUZIN, 2002).

#### b) Comprimento de raízes em diferentes classes de diâmetro

Os resumos das análises da variância para as variáveis comprimento, do sistema radicular em diferentes classes diâmetro, encontram-se na Tabela 7. Para todas as classes de diâmetro houve efeito significativo para osmocote, para o fator sacarose apenas houve efeito significativo na classe de diâmetro de 1,5-2,0 mm.

Tabela 7 Resumo das análises da variância para as variáveis comprimento de raízes com diâmetro < 0,5 mm, entre 0,5-1,0 mm, entre 1,0-1,5 mm e entre 1,5-2,0 mm de mudas de cafeeiros obtidas por enraizamento de estacas, Lavras-MG, 2013

FV	GL	< 0.5		0,5-1,0		1,0-1,5		1,5-2,0	
		QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc
Osmocote	3	602,770	0,007	150,471	0,000	17,837	0,001	2,939	0,000
Sacarose	2	61,580	0,603	45,388	0,069	6,341	0,072	0,887	0,051
Osm*Sac	6	104,880	0,524	34,556	0,070	2,766	0,301	0,587	0,074
Resíduo	24	119,170		15,153		2,151		0,262	
CV (%)		34,57		19,7		27,49		33,97	

Os valores médios ajustados para cada classe de diâmetro em função das doses de osmocote e das concentrações de sacarose são apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

Mais de 85% do comprimento total das raízes apresentam raízes com diâmetro inferior a 1 mm e cerca de 10% do comprimento total de raízes apresentam raízes com diâmetro entre 1,0-2,0 mm independentemente da dose de osmocote utilizada. Provavelmente esta seja uma característica própria da planta, visto que alguns autores encontraram resultados semelhantes a este. Finer, Messier e Grandpré (1997) observaram que, em coníferas, mais de 90% do comprimento total das raízes eram de diâmetro inferior a 1,00 mm. Jesus, Carvalho e Soares (2006) estudando o sistema radicular de mudas de cafeeiros obtidos por estaquia e por sementes, observaram que mais de 98% do comprimento total de raízes constituíam de raízes finas, com diâmetro inferior a 2,0 mm, tanto nas mudas de estacas quanto nas de sementes.

A sacarose não teve influência no comprimento das raízes finas (diâmetro < 0,5 mm) e nas demais classes, a concentração de 2,5% proporcionou um pequeno aumento no comprimento das raízes (Figura 6).

O fornecimento de osmocote aumentou o comprimento de raízes em todas as classes de diâmetro (Figura 5), independentemente da dose utilizada. A

absorção de nutrientes pela planta é feita por raízes finas, enquanto as de maior calibre são responsáveis pela absorção de água.

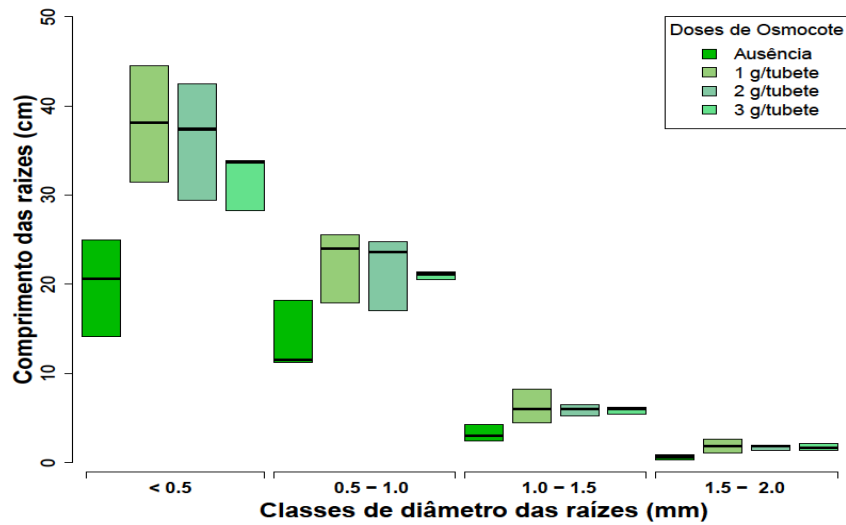


Figura 6 Box-Plot com os valores médios estimados do comprimento das raízes em diferentes classes de diâmetro, em função de osmocote

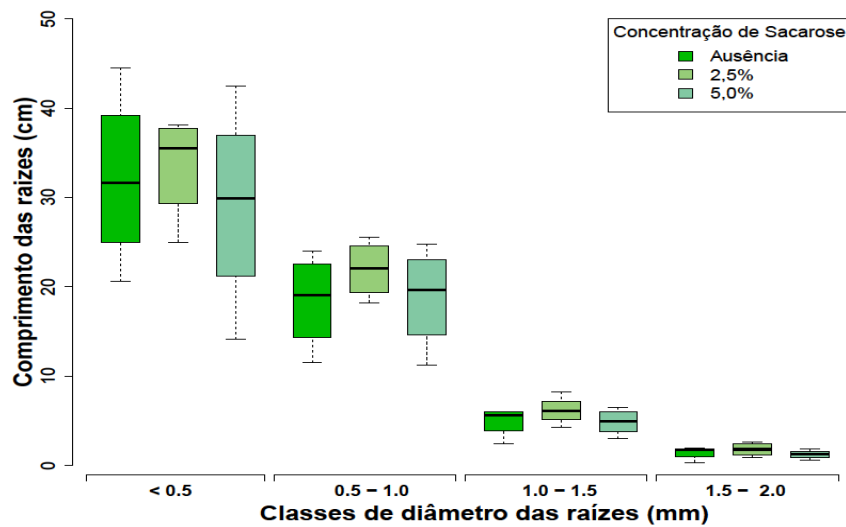


Figura 7 Box-Plot com os valores médios estimados do comprimento das raízes em diferentes classes de diâmetro, em função de sacarose

## 4.2 Parte aérea

O resumo da análise da variância para a variável massa seca dos ramos ortotrópicos das mudas é apresentado na Tabela 8, assim como a análise de variância para o modelo quadrático da superfície de resposta ajustada.

Tabela 8 Resumo da análise da variância para a variável massa seca dos ramos ortotrópicos (g/planta). Modelo quadrático da superfície de resposta

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
(Tratamento)	(11)	(0,1565)	(0,0142)	(2,3036)	(0,0424)
Osmocote	3	0,0242	0,0081	1,3050	0,2957
Sacarose	2	0,0332	0,0166	2,6899	0,0883
Osm*Sac	6	0,0991	0,0165	2,6742	0,0394
(Modelo)	(4)	(0,0921)	(0,0230)	(3,7278)	(0,0170)
Osm	1	0,0090	0,0090	1,4605	0,2386
Sac	1	0,0055	0,0055	0,8901	0,3549
Sac <sup>2</sup>	1	0,0277	0,0277	4,4897	0,0446
Osm*Sac	1	0,0498	0,0498	8,0711	0,0090
Falta de Ajuste	7	0,0644	0,0092	1,4898	0,2181
Resíduo	24	0,1482	0,0062		
Total	35	0,3047			
CV = 13,73%					

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 9 são apresentados os coeficientes dos parâmetros da equação da superfície de resposta com os respectivos erros padrões.

Tabela 9 Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para massa seca das raízes, com seus erros padrões e teste da hipótese para  $\beta_i = 0$

Parâmetro	GL	Estimativas	Erro padrão	t <sub>c</sub>	Pr> t
$\beta_0$	1	0,4979	0,0359	13,8810	0,0000
$\beta_1$	1	0,0266	0,0185	1,4363	0,1638
$\beta_2$	1	0,0776	0,0247	3,1440	0,0044
$\beta_3$	1	-0,0094	0,0044	-2,1189	0,0446
$\beta_4$	1	-0,0163	0,0057	-2,8410	0,0090

Nota: Lavras-MG, 2013.

A seguir é apresentado o resumo da análise da variância para a variável altura média das mudas (Tabela 10). Devido aos resíduos do modelo ajustado terem apresentado indício de não adequação aos pressupostos da análise de variância, os dados foram transformados em logaritmo (equivalente a

transformação exponencial com expoente zero), de acordo com a transformação de Box e Cox (1964) (Figura 8).

Tabela 10 Resumo da análise da variância para a variável altura média das mudas (cm/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Osmocote	3	44,9230	14,9745	19,3741	0,0000
Sacarose	2	0,1330	0,0663	0,0858	0,9181
Osm*Sac	6	1,6130	0,2688	0,3477	0,9042
Resíduo	24	18,5500	0,7729		
Total	35	65,2190			

CV = 27,23%

Nota: Lavras-MG, 2013

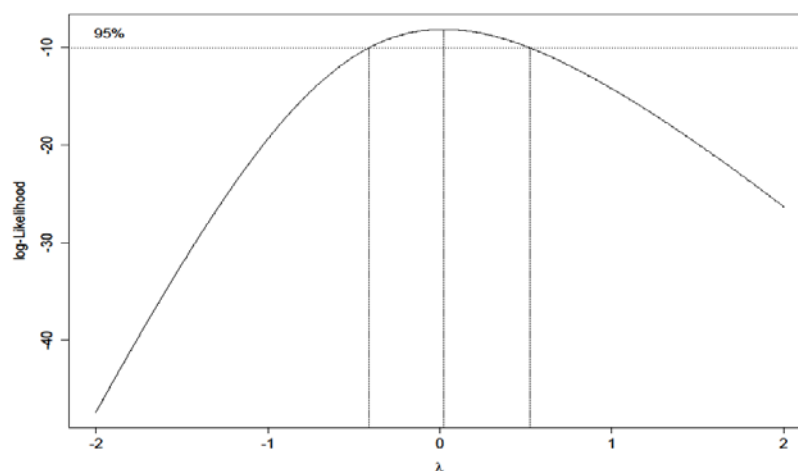


Figura 8 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável altura média das mudas

O resumo da análise da variância da altura média das mudas (transformada) é apresentado na Tabela 11. Houve efeito significativo apenas de



osmocote. Pelo teste da falta de ajuste, o modelo de regressão polinomial pode ser considerado adequado para a explicação da variação da altura média das mudas pela variação das doses de osmocote.

Tabela 11 Resumo da análise da variância para a variável altura média das mudas (transformada) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Osmocote)	(3)	(0,6800)	(0,2267)	(31,6980)	(0,0000)	
Linear	1	0,5337	0,5337	74,6300	0,0000	0,78
Falta de ajuste	2	0,1464	0,0732	10,2300	0,0006	
Quadrático	1	0,1432	0,1432	20,0200	0,0002	0,99
Falta de ajuste	1	0,0032	0,0032	0,4400	0,5126	
(Sacarose)	(2)	(0,0033)	(0,0017)	(0,2330)	(0,7940)	
(Osm*Sac)	(6)	(0,0163)	(0,0027)	(0,3800)	(0,8846)	
Resíduo	24	0,1716	0,0072			
Total	35	0,8713				

CV = 6,43%

Nota: Lavras-MG, 2013.

Para o diâmetro médio dos ramos ortotrópicos a regressão polinomial não é adequada para explicar a variação desta variável à variação das doses de osmocote, pois o teste de falta de ajuste foi significativo (Tabela 12), o que levou ao ajuste por um modelo recíproco.

Tabela 12 Resumo da análise da variância para a variável diâmetro médio dos ramos ortotrópicos das mudas (mm/planta) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Osmocote)	(3)	(1,1292)	(0,3764)	(5,1393)	(0,0069)	
Linear	1	0,4441	0,4441	6,0600	0,0214	0,39
Desvio de Regressão	2	0,6851	0,3425	4,6800	0,0193	
Quadrático	1	0,2737	0,2737	3,7400	0,0651	0,64
Desvio de Regressão	1	0,4114	0,4114	5,6200	0,0262	
Recíproco	1	0,8428	0,8428	11,5350	0,0020	0,75
Desvio Regressao	2	0,2863	0,1431	1,9590	0,1630	
(Sacarose)	(2)	(0,3373)	(0,1686)	(2,3025)	(0,1217)	
(Osm*Sac)	(6)	(0,6430)	(0,1072)	(1,4633)	(0,2328)	
Resíduo	24	1,7577	0,0732			
Total	35	3,8671				
CV = 11,56%						

Nota: Lavras-MG, 2013.

Para as variáveis NBP, NTF, NFR e NFN foram ajustados modelos lineares generalizados mistos (MLGM's) considerando o efeito de parcelas aleatório e a distribuição binomial para NBP e NFR e a distribuição de Poisson para NTF e NFN. Na Tabela 13 é apresentado o resumo da análise da deviance (desvios) com os valores do qui-quadrado e valor-p. Para o NBP, nenhum dos fatores e nem a interação foi significativa. Para as demais variáveis apenas o efeito do osmocote foi significativo.

Tabela 13 Resumo da análise da deviance com teste de Qui-quadrado de Wald tipo 2 para as variáveis número de brotos por planta (NBP), número total de folhas (NTF), número de folhas remanescentes (NFR) e número de folhas novas (NFN) de mudas de cafeeiros obtidos por estaquia

FV	GL	NBP		NTF		NFR		NFN	
		Chisq	p-valor	Chisq	p-valor	Chisq	p-valor	Chisq	p-valor
Osmocote	3	4,274	0,233	116,474	0,000	8,505	0,037	130,164	0,000
Sacarose	2	3,417	0,181	2,400	0,301	0,159	0,924	2,967	0,227
Osm*Sac	6	4,968	0,548	8,450	0,207	1,164	0,979	10,772	0,096

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 14 é apresentado o resumo da análise da variância para MSF. Devido aos resíduos do modelo ajustado terem apresentado indício de não adequação aos pressupostos da análise de variância, os dados foram transformados em raiz quarta (equivalente a transformação exponencial com expoente 0,25) de acordo com a transformação de Box e Cox (1964) (Figura 9).

Tabela 14 Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das folhas (g/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Osmocote	3	0,1886	0,0629	17,1225	0,0000
Sacarose	2	0,0168	0,0084	2,2913	0,1228
Osm*Sac	6	0,0250	0,0042	1,1329	0,3736
Resíduo	24	0,0881	0,0037		
Total	35	0,3185			

CV = 13,21%

Nota: Lavras-MG, 2013.

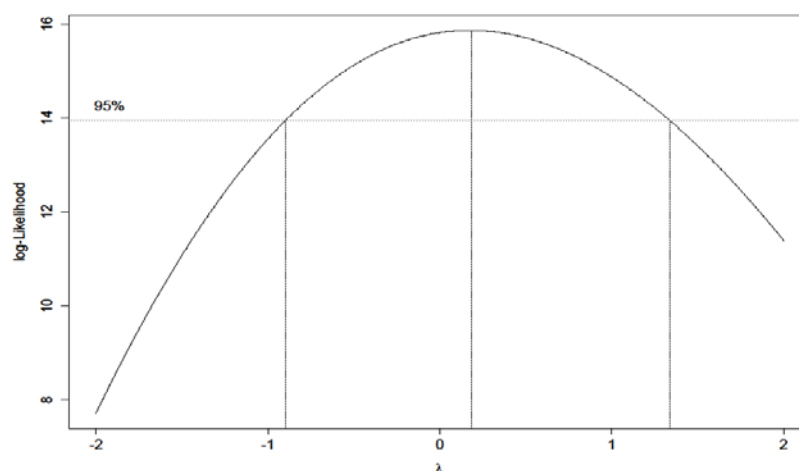


Figura 9 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável massa seca total das folhas

O resumo da análise da variância para a variável massa seca total das folhas (transformada) é apresentado na Tabela 15. Houve efeito significativo apenas de osmocote. Pelo teste da falta de ajuste o modelo de regressão polinomial quadrático pode ser considerado adequado para a explicação da variação da MSF pela variação das doses de osmocote.

Tabela 15 Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das folhas (transformada) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Osmocote)	(3)	(0,0428)	(0,0143)	(19,7153)	(0,0000)	
Linear	1	0,0361	0,0362	50,0600	0,0000	0,85
Falta de ajuste	2	0,0066	0,0033	4,5400	0,0212	
Quadrático	1	0,0056	0,0051	7,0100	0,0141	0,96
Falta de ajuste	1	0,0015	0,0015	2,0800	0,1619	
(Sacarose)	(2)	(0,0036)	(0,0018)	(2,5113)	(0,1023)	
(Osm*Sac)	(6)	(0,0042)	(0,0007)	(0,9707)	(0,4659)	
Resíduo	24	0,0174	0,0007			
Total	35	0,0680				
CV = 3,28%						

Nota: Lavras-MG, 2013.

Devido aos resíduos do modelo ajustado para a área foliar total terem apresentado indício de não adequação aos pressupostos da análise de variância, os dados foram transformados em raiz quarta (equivalente a transformação exponencial com expoente 0,25) de acordo com a transformação de Box e Cox (1964) (Figura 10). Os resumos da análise da variância para os dados originais e transformados da variável área foliar total são apresentados nas Tabelas 16 e 17, respectivamente.

Tabela 16 Resumo da análise da variância para a variável área foliar total (cm<sup>2</sup>/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Osmocote	3	17545,4000	5848,5000	30,7495	0,0000
Sacarose	2	691,7000	345,9000	1,8185	0,1839
Osm*Sac	6	1858,5000	309,8000	1,6286	0,1826
Resíduo	24	4564,7000	190,2000		
Total	35	24660,3000			

CV = 16,30%

Nota: Lavras-MG, 2013.

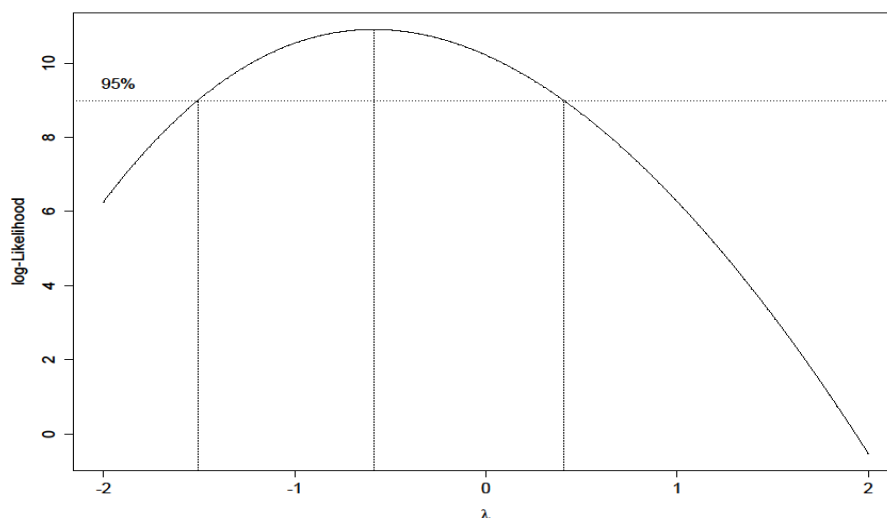


Figura 10 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável área foliar total das folhas

Houve efeito significativo apenas do osmocote na variável área foliar total (Tabela 17). Pelo teste da falta de ajuste, o modelo de regressão polinomial quadrático pode ser considerado adequado para a explicação da variação área foliar total pela variação das doses de osmocote.

Tabela 17 Resumo da análise da variância para a variável área foliar total (transformada) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Osmocote)	(3)	(1,6242)	(0,5414)	(39,3670)	(0,0000)	
Linear	1	1,4847	1,4847	107,9500	0,0000	0,9141
Falta de ajuste	2	0,1395	0,0698	5,0700	0,0145	
Quadrático	1	0,1140	0,1140	8,2900	0,0083	0,9843
Falta de ajuste	1	0,0256	0,0256	1,8600	0,1854	
(Sacarose)	(2)	(0,0509)	(0,0255)	(1,8510)	(0,1788)	
(Osm*Sac)	(6)	(0,1123)	(0,0187)	(1,3600)	(0,2703)	
Resíduo	24	0,3301	0,0138			
Total	35	2,1175				
CV = 3,90%						

Nota: Lavras-MG, 2013.

Para as variáveis MSR e AFR não houve efeito de nenhum dos fatores em estudo, enquanto que para as variáveis MSN e AFN houve efeito de osmocote (Tabela 18).

Tabela 18 Resumo das análises da variância para as variáveis matéria seca das folhas remanescentes (MSR) (g/planta) e área foliar remanescente (AFR) (cm<sup>2</sup>/planta) de mudas de cafeeiros obtidos por estaquia

FV	GL	MSR		AFR	
		QM	Pr>Fc	QM	Pr>Fc
Osmocote	3	0,002	0,447	69,527	0,198
Sacarose	2	0,002	0,359	59,287	0,259
Osm*Sac	6	0,001	0,788	12,017	0,936
Resíduo	24	0,002		41,450	
CV (%)		13,51		14,87	

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 19 é apresentado o resumo da análise da variância para a variável MSN. Devido aos resíduos do modelo ajustado terem apresentado indício de não adequação aos pressupostos da análise de variância, os dados foram transformados em raiz quarta (equivalente a transformação exponencial

com expoente 0,25), de acordo com a transformação de Box e Cox (1964) (Figura 11).

Tabela 19 Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas novas (g/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Osmocote	3	0,1580	0,0527	33,0110	0,0000
Sacarose	2	0,0049	0,0025	1,5410	0,2346
Osm*Sac	6	0,0201	0,0034	2,1000	0,0908
Resíduo	24	0,0383	0,0016		
Total	35	0,2213			

CV = 25,48%

Nota: Lavras-MG, 2013.

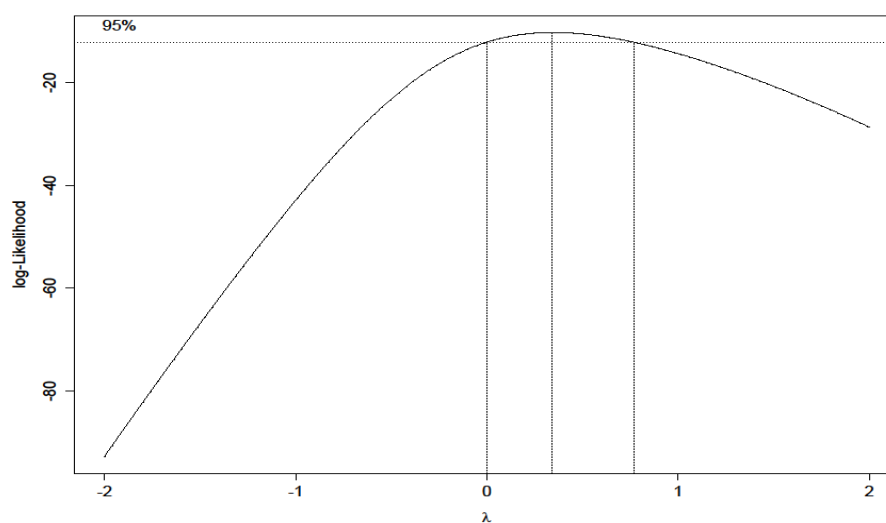


Figura 11 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável massa seca das folhas novas

Houve efeito significativo apenas de osmocote na variável massa seca das folhas novas (Tabela 20). Pelo teste da falta de ajuste, o modelo de regressão

polinomial quadrático pode ser considerado adequado para a explicação da MSN pela variação das doses de osmocote.

Tabela 20 Resumo da análise da variância para a variável massa seca das folhas novas (transformada) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
(Osmocote)	(3)	(0,2524)	(0,0841)	(50,0980)	(0,0000)	
Linear	1	0,2086	0,2086	124,2300	0,0000	0,83
Falta de ajuste	2	0,0438	0,0219	13,0300	0,0002	
Quadrático	1	0,0410	0,0410	24,4300	0,0001	0,99
Falta de ajuste	1	0,0028	0,0028	1,6400	0,2129	
(Sacarose)	(2)	(0,0046)	(0,0023)	(1,3760)	(0,2718)	
(Osm*Sac)	(6)	(0,0191)	(0,0032)	(1,9000)	(0,1221)	
Resíduo	24	0,0403	0,0017			
Total	35	0,3165				
CV = 6,72%						

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 21 é apresentado o resumo da análise da variância para a variável AFN. Devido aos resíduos do modelo ajustado terem apresentado indício de não adequação aos pressupostos da análise de variância, os dados foram transformados em raiz quadrada (equivalente a transformação exponencial com expoente 0,50) de acordo com a transformação de Box e Cox (1964) (Figura 12).

Tabela 21 Resumo da análise da variância para a variável área foliar das folhas novas (cm<sup>2</sup>/planta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Osmocote	3	15141,1000	5047,0000	39,7550	0,0000
Sacarose	2	334,8000	167,4000	1,3190	0,2862
Osm*Sac	6	1871,9000	312,0000	2,4570	0,0538
Resíduo	24	3046,9000	127,0000		
Total	35	20394,8000			
CV = 27,27%					

Nota: Lavras-MG, 2013.



Observa-se que houve efeito significativo apenas de osmocote na variável área foliar das folhas novas (Tabela 22). Pelo teste da falta de ajuste, o modelo de regressão polinomial quadrático pode ser considerado adequado para a explicação da variação da AFN pela variação das doses de osmocote.

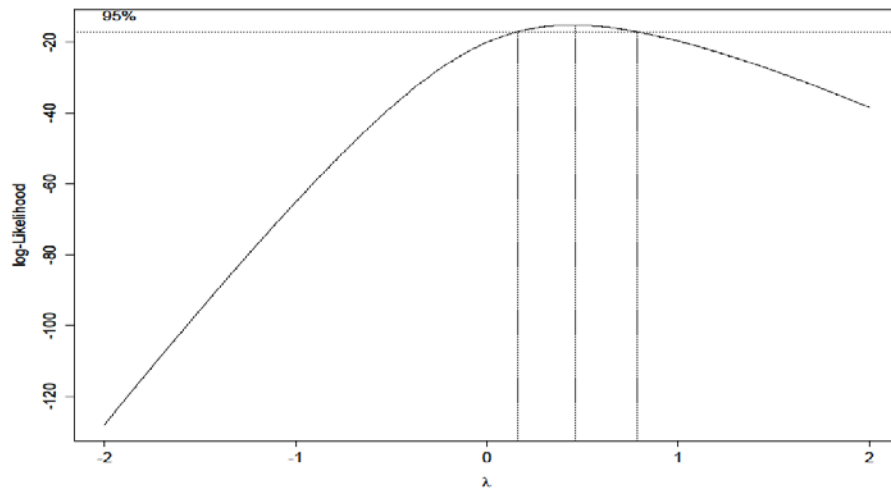


Figura 12 Gráfico indicativo do perfil de verossimilhança em função do parâmetro da transformação de Box-Cox para a variável área foliar das folhas novas

Tabela 22 Resumo da análise da variância para a variável área foliar das folhas novas (transformada) e para os modelos de regressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	R <sup>2</sup>
Osmocote	3	124,2300	41,4100	53,4170	0,0000	
Linear	1	112,4266	112,4266	145,0200	0,0000	0,91
Falta de ajuste	2	11,8032	5,9016	7,6100	0,0028	
Quadrático	1	11,3209	11,3209	14,6000	0,0008	1,00
Falta de ajuste	1	0,4823	0,4823	0,6200	0,4380	
Sacarose	2	1,1100	0,5550	0,7160	0,4990	
Osm*Sac	6	10,1320	1,6890	2,1780	0,0810	
Resíduo	24	18,6050	0,7750			
Total	35	154,0770				
CV = 14,47%						

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 23 são apresentadas as estimativas dos coeficientes das equações de regressão ajustadas para as variáveis da parte aérea citadas anteriormente.

Tabela 23 Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão para as variáveis DMM e para as variáveis (transformadas) AMM, MST, AFT, MSN e AFN, com seus erros padrões e teste da hipótese para  $\beta_i = 0$

Parâmetro	GL	Estimativas	Erro padrão	$t_c$	Pr> t
AMM- Osmocote					
$\beta_0$	1	1.0882	0.0275	39.6071	0.0000
$\beta_1$	1	0.2981	0.0441	6.7566	0.0000
$\beta_2$	1	-0.0631	0.0141	-4.4749	0.0002
DMB- Osmocote					
$\beta_0$	1	2.5292	0.0713	35.4790	0.0000
$\beta_1$	1	-0.2234	0.0659	-3.3883	0.0024
MST- Osmocote					
$\beta_0$	1	0.7652	0.0087	87.5934	0.0000
$\beta_1$	1	0.0639	0.0140	4.5580	0.0001
$\beta_2$	1	-0.0119	0.0045	-2.6469	0.0141
AFT- Osmocote					
$\beta_0$	1	2.6757	0.0381	70.2249	0.0000
$\beta_1$	1	0.3504	0.0612	5.7274	0.0000
$\beta_2$	1	-0.0563	0.0196	-2.8788	0.0083
MSN- Osmocote					
$\beta_0$	1	0.4740	0.0133	35.6001	0.0000
$\beta_1$	1	0.1694	0.0214	7.9208	0.0000
$\beta_2$	1	-0.0338	0.0068	-4.9423	0.0001
AFN- Osmocote					
$\beta_0$	1	3.1548	0.2861	11.0284	0.0000
$\beta_1$	1	3.2629	0.4594	7.1029	0.0000
$\beta_2$	1	-0.5608	0.1467	-3.8214	0.0008

Nota: Lavras-MG, 2013.

Para a massa seca dos ramos ortotrópicos observa-se que no fornecimento de sacarose na ausência de osmocote, houve um crescente acúmulo de fitomassa com o aumento da concentração de sacarose, sendo que na maior concentração o ganho na massa seca foi o máximo (Figura 13). Parece que neste caso o fornecimento de sacarose propiciou um acúmulo de reservas nos ramos ortotrópicos, provavelmente devido à quantidade de sacarose disponível para a planta ter sido superior à quantidade requerida para as atividades metabólicas. Em relação ao osmocote na ausência de sacarose, houve um ganho menos expressivo na massa seca dos ramos ortotrópicos com o aumento das

doses, o que está relacionado com um maior crescimento observado da parte aérea com o aumento das doses de osmocote.

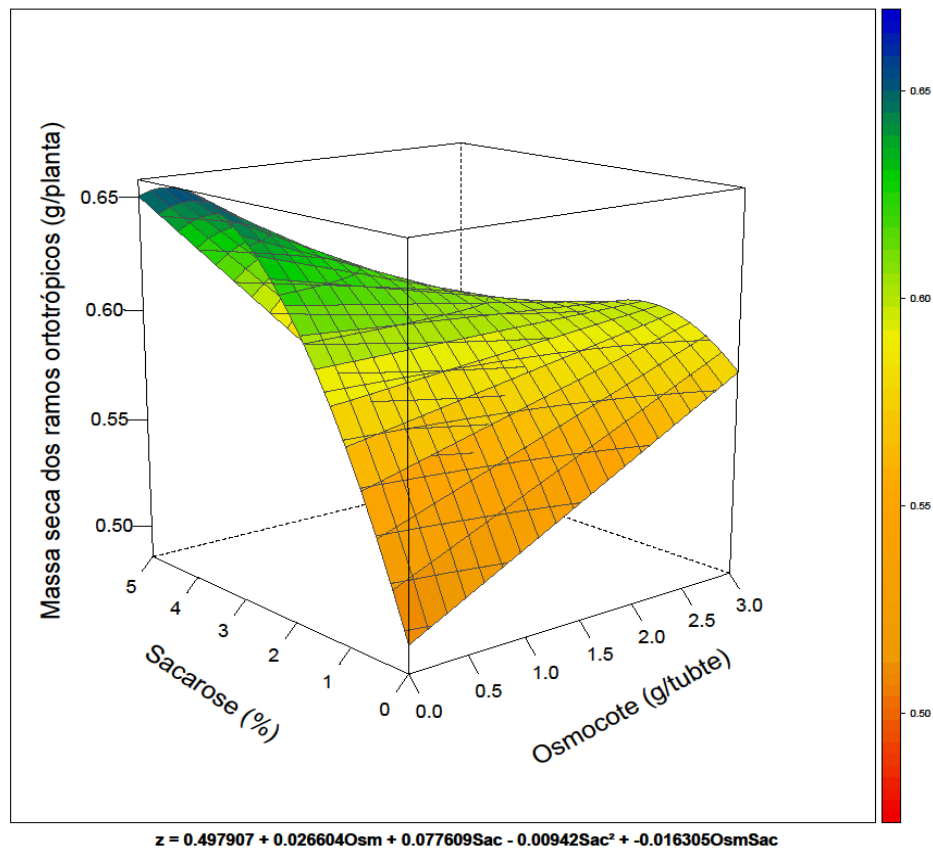


Figura 13 Superfície de resposta ajustada para massa seca dos ramos ortotrópicos de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose

Na associação de osmocote com sacarose observa-se uma tendência de redução da massa seca conforme o aumento da dose de osmocote e a redução da concentração de sacarose (Figura 14).

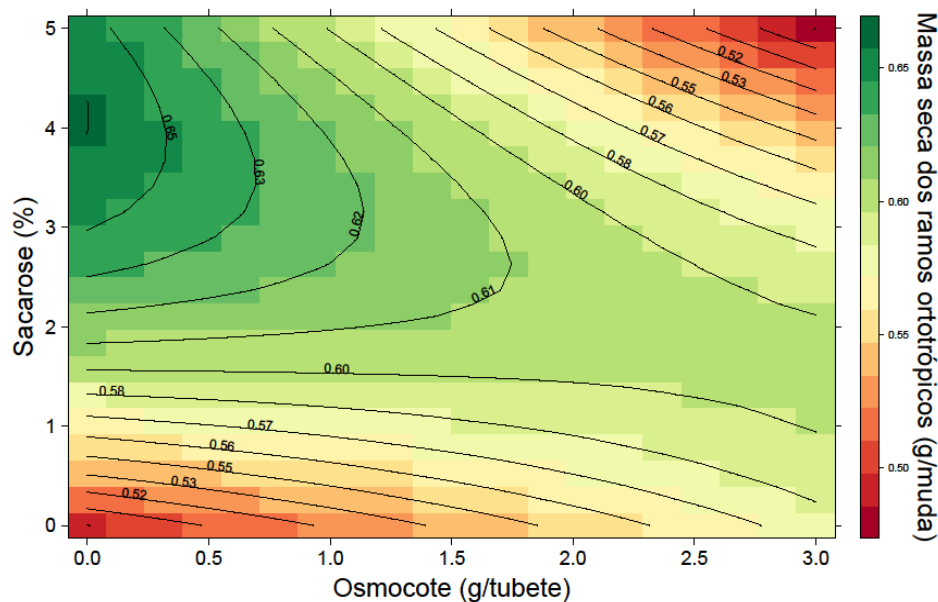


Figura 14 Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca dos ramos ortotrópicos em função de osmocote e sacarose

Na ausência e no fornecimento simultâneo dos maiores níveis de osmocote e sacarose (3 g e 5%, respectivamente) houve uma redução do ganho em massa seca. O menor valor de massa seca dos ramos ortotrópicos na ausência de osmocote e sacarose indica um menor crescimento da parte aérea, o qual é evidenciado pelos menores valores observados para número de folhas e altura das plantas, o que será discutido a seguir. Este menor crescimento pode estar relacionado à deficiência de nutrientes e de energia necessária para um maior crescimento da planta. Quando se forneceu doses maiores que 2,0 g/tubete de osmocote e sacarose acima de 4,0% (Figura 14) houve uma redução na massa seca total. Provavelmente isso se deve a uma translocação de fitomassa destes ramos para as raízes, pois neste mesmo intervalo de doses, a massa seca do sistema radicular atingiu os valores máximos (Figuras 1 e 2).

Ao analisar a altura média das mudas pode-se observar um aumento desta variável até a dose de 2 g/tubete de osmocote e posteriormente a essa dose houve uma redução (Figura 15). Para o diâmetro médio dos ramos ortotrópicos (Figura 15), observa-se que a utilização de osmocote proporcionou um pequeno aumento se comparado com a ausência do osmocote, e pouco foi o ganho em diâmetro ao aumentar as doses. Marana et al. (2008) observaram que conforme o aumento da dose do adubo de liberação, a relação entre a altura de mudas de cafeeiros com o diâmetro do caule aumentava, ou seja, o diâmetro do caule não aumentava na mesma proporção que a altura das mudas. Os autores concluíram que houve um maior crescimento da muda em altura do que em diâmetro do coleto. O mesmo pode ser observado nas Figuras 15 e 16, pelas quais se verifica que houve uma maior taxa de aumento em altura do que em aumento do diâmetro para as mudas.

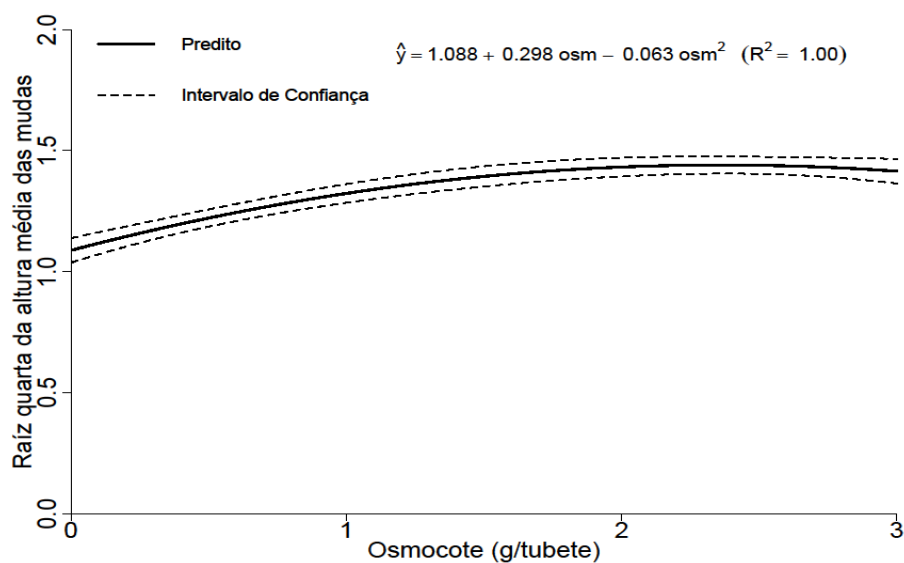


Figura 15 Equação ajustada para a variável altura média das mudas de café obtidas por estaquia, em função de doses de osmocote

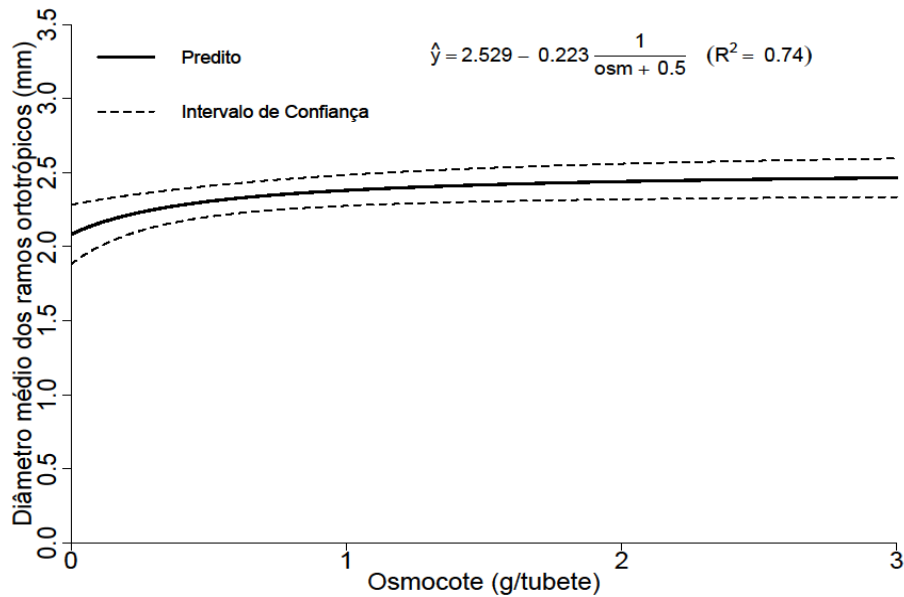


Figura 16 Equação ajustada para diâmetro médio dos ramos ortotrópico das mudas de café obtidas por estaquia em função de doses de osmocote

A seguir serão apresentados os gráficos de caixa (box-plot) dos valores estimados pelos modelos lineares generalizados mistos ajustados para as variáveis número de folhas total, número de folhas remanescente e número de folhas novas. O modelo ajustado a estas variáveis contempla apenas os efeitos que foram significativos pela análise de desvios (Tabela 13).

Pode-se observar, na Figura 17, os valores médios estimados do sucesso da planta apresentar duas folhas (1) ou apresentar uma ou nenhuma folha (0). O osmocote aumentou a probabilidade das mudas manterem as duas folhas remanescentes, enquanto que na ausência, as plantas tenderam a perder uma ou as duas folhas. As folhas remanescentes presentes na estaca desempenham um papel importante ao longo do processo de enraizamento, pois funcionam como

fonte de fotoassimilados, auxinas e nutrientes para o metabolismo e desenvolvimento de novas raízes e folhas (PASQUAL et al., 2001).

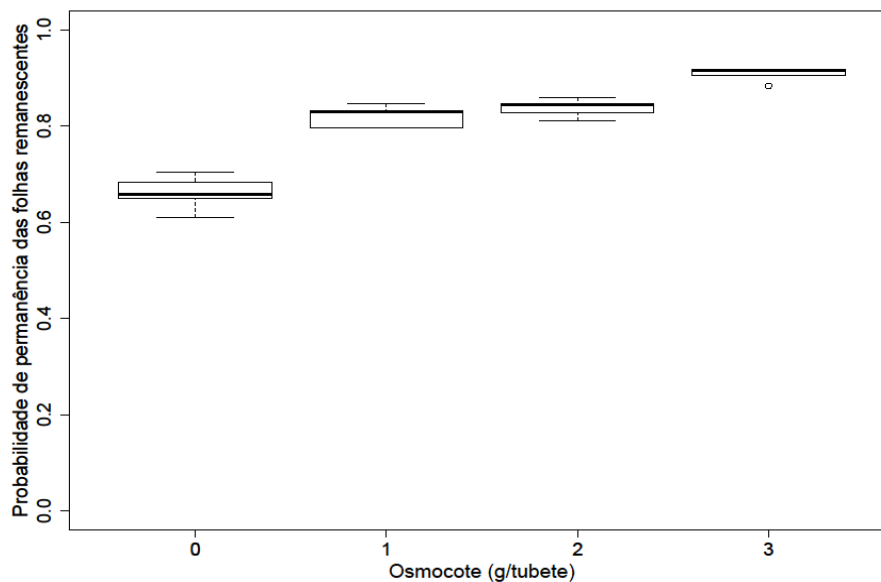


Figura 17 Box-Plot com a probabilidade estimada da permanência das duas folhas nas estacas (valor próximo a 1), uma ou nenhuma folha (valores próximo a zero) das mudas de cafeeiro obtidas por estacas

As variáveis NTF e NFN apresentaram comportamentos semelhantes, como pode ser observado nas Figuras 18 e 19. O osmocote independentemente da dose utilizada, aumentou o número de folhas das mudas de cafeeiros propagadas por estaquia. Enquanto que na ausência de osmocote, as mudas apresentaram quatro folhas novas (Figura 19), com a utilização de 1g/tubete houve um aumento de 100% do número de folhas durante o mesmo período, o que torna importante a utilização de adubo de liberação lenta na produção deste tipo de muda. Melo, Mendes e Guimarães (2001) observaram que as mudas de cafeeiros oriundas de sementes e produzidas em tubetes, tiveram um aumento



médio de 2,5 pares de folhas com a utilização de adubo de liberação lenta, em relação às mudas que não receberam este tipo de adubo.

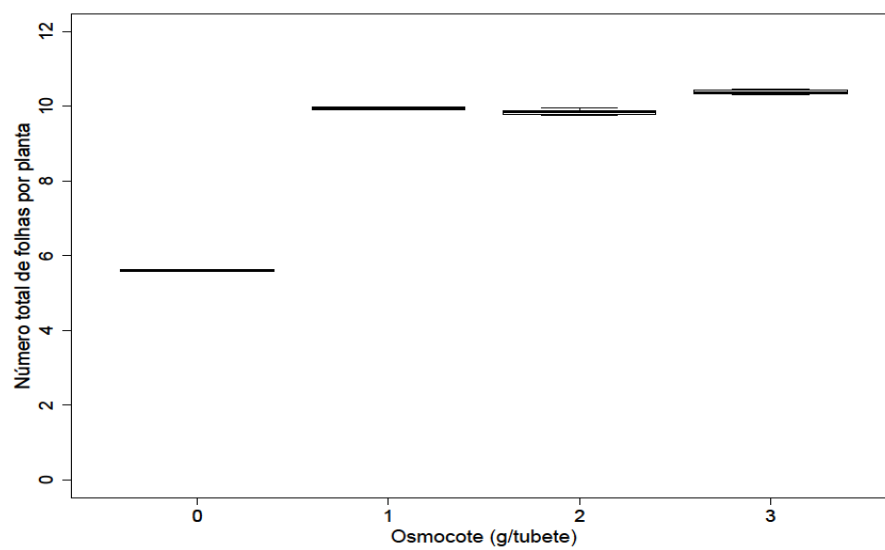


Figura 18 Box-Plot com os valores médios estimados da variável número total de folhas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote

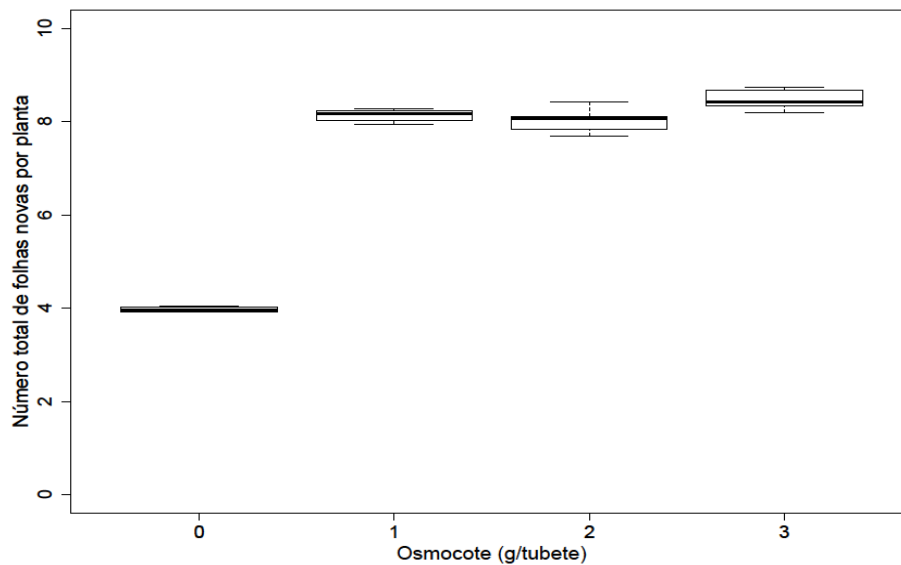


Figura 19 Box-Plot com os valores médios estimados para a variável número de folhas novas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote

Com base neste resultado conclui-se que o tempo gasto para a formação de mudas por enraizamento de estacas é equivalente ao tempo gasto pela formação de mudas de meio ano por sementes, já que esta avaliação foi realizada aos 138 dias após a instalação do experimento. Na produção de mudas por semente o padrão de mudas, que é recomendado para serem levadas para o campo, é em média com três pares de folhas verdadeiras, o que é alcançado em torno de cinco a seis meses, dependendo as condições climáticas durante o período de formação (GUIMARÃES, 1995).

Para MSF, MSN, AFT e AFN pode-se observar que o fornecimento de osmocote aumentou os valores destas variáveis em relação às mudas que não receberam osmocote (Figura 20, 21, 22 e 23), o mesmo foi observado por Melo,

Mendes e Guimarães (2001) pois as mudas que receberam as maiores doses de osmocote apresentaram a maior área foliar e massa seca foliar.

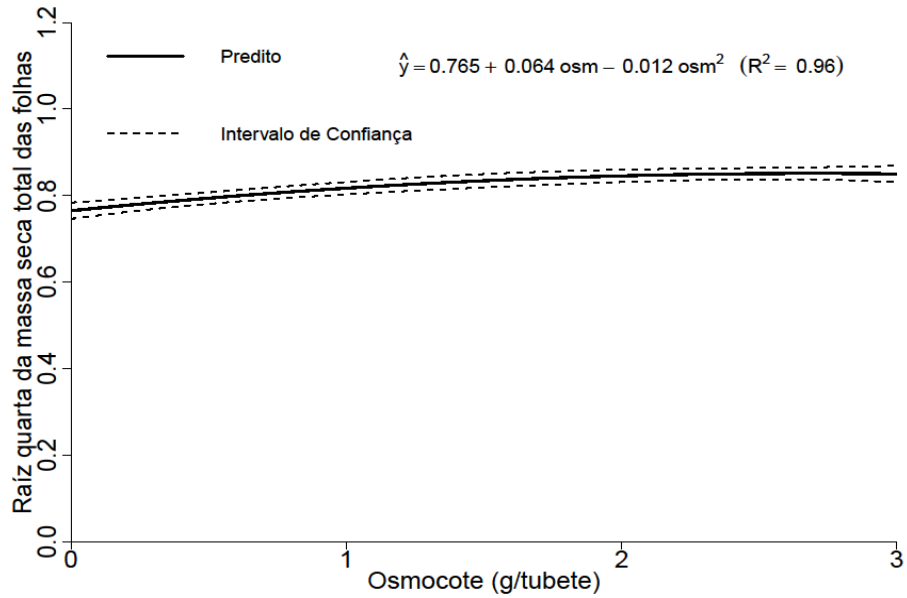


Figura 20 Equação ajustada para a variável massa seca total das folhas das mudas de café obtidas por estaquia em função de osmocote

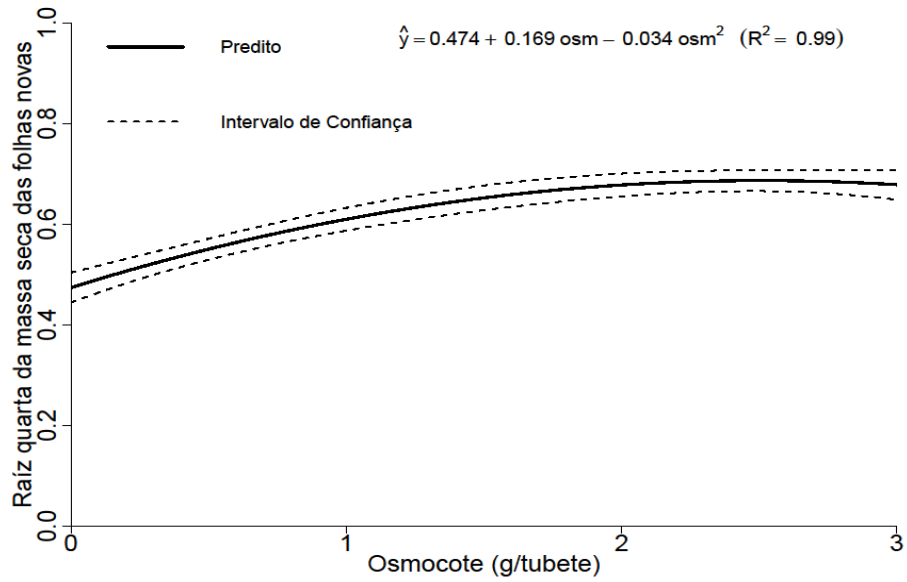


Figura 21 Equação ajustada para a variável massa seca das folhas novas das mudas de cafeeiro obtidas por estaquia em função de osmocote

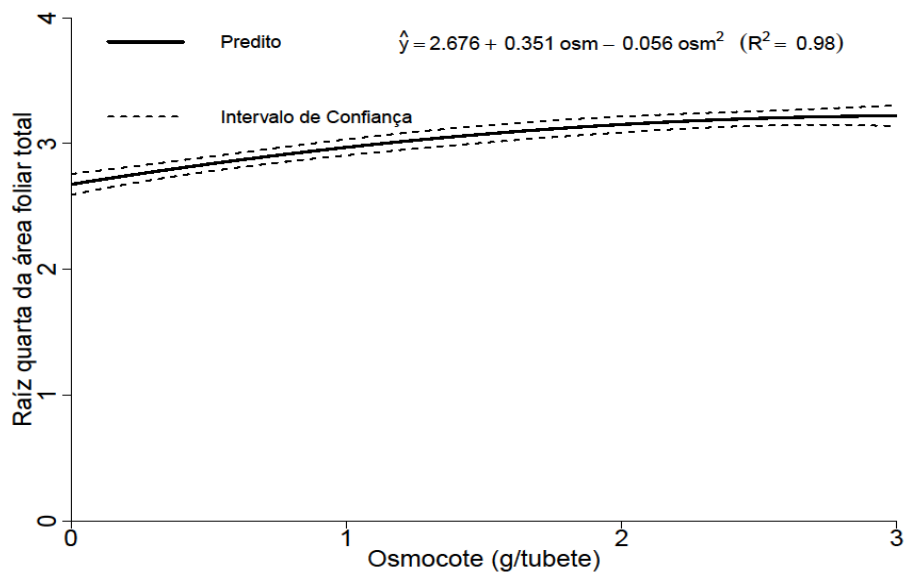


Figura 22 Equação ajustada para a variável área foliar total das mudas de café obtidas por estaquia em função de osmocote

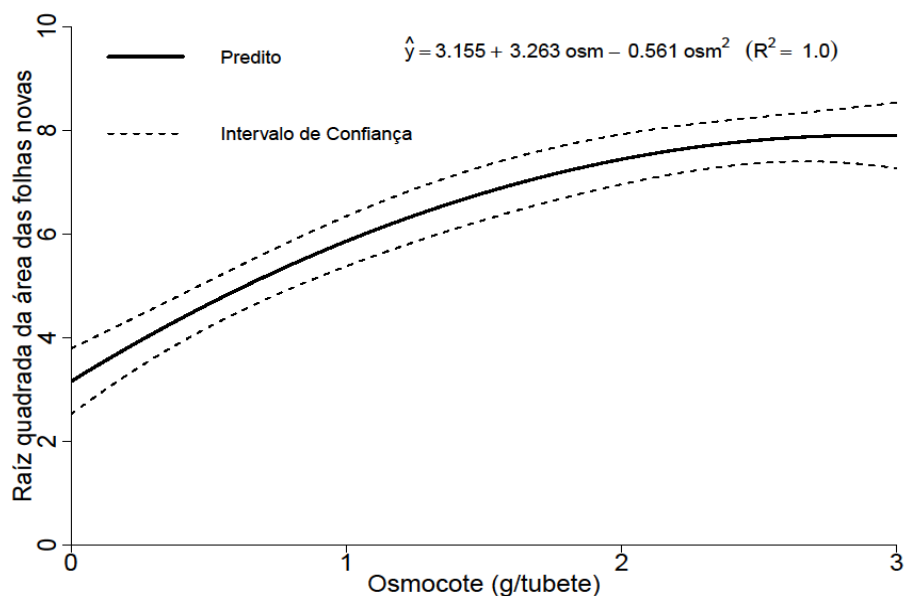


Figura 23 Equação ajustada para a variável área foliar das folhas novas das mudas de café obtidas por estaquia em função de osmocote

Segundo Mendonça et al. (2004), um dos benefícios da utilização de fertilizantes de liberação lenta em relação à utilização de adubos solúveis ou solução nutritiva é a diminuição de perdas de nutrientes. Holcomb (1979) observou uma taxa de lixiviação de aproximadamente 54% de nitrogênio em vasos com crisântemo adubados com solução nutritiva, ao passo que nos vasos que foram adubados com Osmocote a lixiviação foi de apenas 11%. A liberação de nutrientes pelo osmocote, neste experimento, foi adequada para suprir as necessidades da muda, para que esta pudesse completar seu desenvolvimento vegetativo.

### 4.3 Matéria seca total

O resumo da análise da variância para a variável massa seca total de mudas obtidas por estaquia é apresentada na Tabela 24, assim como a análise da variância da superfície de resposta ajustada.

Tabela 24 Resumo da análise da variância para a variável massa seca total das mudas (g/planta). Modelo quadrático de superfície de resposta

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	11	0,4801	0,0436	4,2180	0,0016
Osmocote	3	0,2021	0,0674	6,5110	0,0022
Sacarose	2	0,1306	0,0653	6,3085	0,0063
Osm*Sac	6	0,1475	0,0246	2,3749	0,0607
Modelo	4	0,3546	0,0886	8,5658	0,0002
Osm	1	0,1274	0,1274	12,3133	0,0018
Sac	1	0,0386	0,0386	3,7315	0,0653
Sac <sup>2</sup>	1	0,0920	0,0919	8,8855	0,0065
Osm*Sac	1	0,0966	0,0966	9,3329	0,0054
Falta de Ajuste	7	0,1256	0,0179	1,7337	0,1485
Resíduo	24	0,2484	0,0103		
Total	35	0,7285			
CV = 9,11%					

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Tabela 25 são apresentados os coeficientes dos parâmetros da equação da superfície de resposta com os respectivos erros padrões.

Tabela 25 Estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para a variável massa seca total das mudas, com seus erros padrões e teste da hipótese para  $\beta_i = 0$

Parâmetro	GL	Estimativas	Erro padrão	t <sub>c</sub>	Pr> t
$\beta_0$	1	0,8844	0,0449	19,7043	0,0000
$\beta_1$	1	0,1045	0,0226	4,6190	0,0001
$\beta_2$	1	0,1258	0,0310	4,0625	0,0004
$\beta_3$	1	-0,0172	0,0058	-2,9809	0,0065
$\beta_4$	1	-0,0068	0,0022	-3,0550	0,0054

Nota: Lavras-MG, 2013.

Na Figura 24, é apresentado o ajuste da superfície de resposta para a massa seca total da mudas

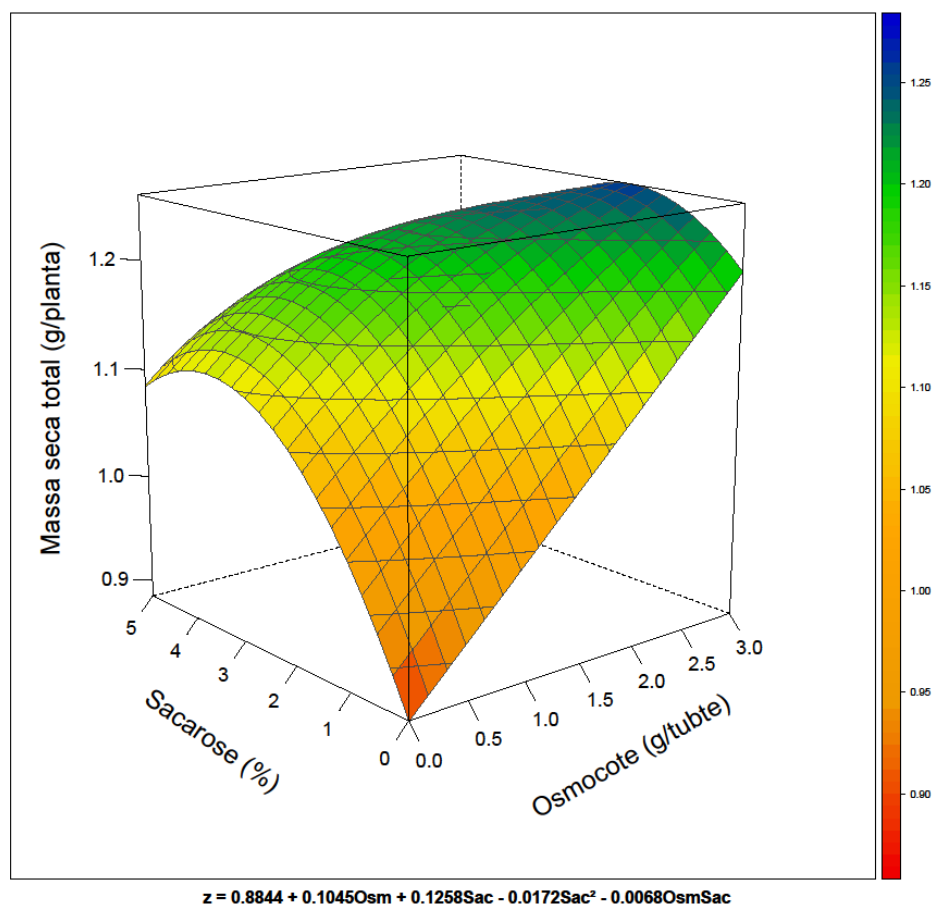


Figura 24 Superfície de resposta ajustada para massa seca total de mudas de cafeeiros obtidas por estaquia em função de osmocote e sacarose

O fornecimento de sacarose na ausência de osmocote proporcionou um ganho máximo de MST na concentração de 3% aproximadamente, o que equivale ao mesmo ganho proporcionado pela utilização de 2,5 g/tubete de osmocote (Figura 25) e que foi superado apenas com o fornecimento de 3



g/tubete (na ausência de sacarose). Na associação de sacarose com osmocote, o ganho máximo de MST foi proporcionado a partir do fornecimento de 2 g/tubete de osmocote e de 3% de sacarose (Figura 25), ganho superior ao observado com o fornecimento de apenas 3 g/tubete de osmocote.

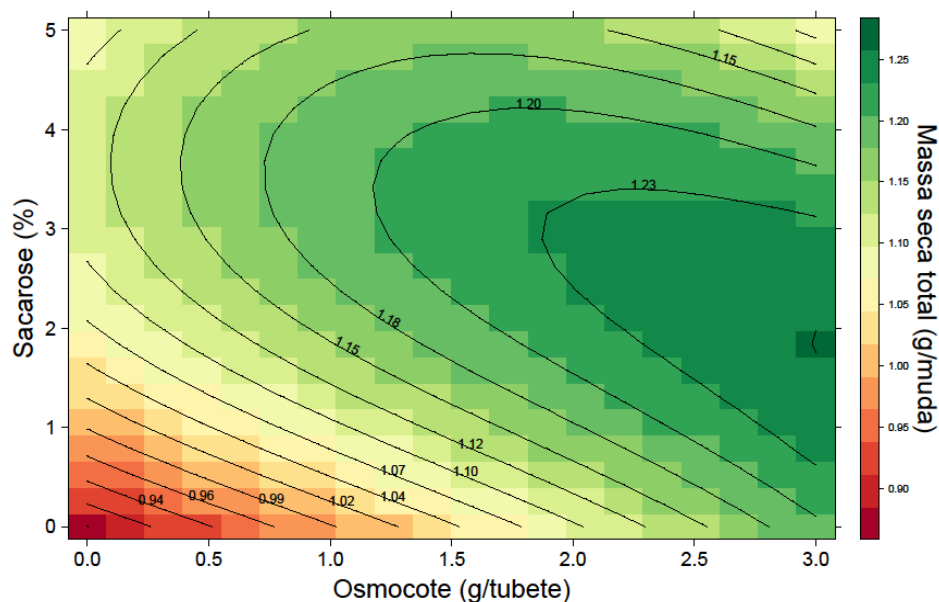


Figura 25 Gráfico de contorno da superfície de resposta para a massa seca total de das mudas em função de osmocote e sacarose

Nas concentrações acima de 4% de sacarose, observa-se que a massa seca total atingiu o máximo com o fornecimento de 2 g/tubete de osmocote, e posterior a essa dose a MST diminuiu, o que não foi observado com a utilização de concentrações inferiores a 4% (Figura 24 e 25). Pode ter ocorrido um acúmulo de açúcares nos tecidos com o fornecimento maior do que 4% de sacarose, o que contribuiu para uma menor atividade metabólica da muda, devido a saturação de açúcares nos tecidos. Em plantas cultivadas *in vitro* sob altas concentrações de sacarose, a síntese reduzida dos açúcares favorece o

acúmulo de carboidratos no tecido, o que pode contribuir para a redução do sistema radicular destas plantas cultivadas em meio contendo alta concentração de sacarose (CALVETE; KÄMPF; SUZIN, 2002), o mesmo foi observado neste trabalho no qual as concentrações acima de 3% de sacarose propiciaram a redução do volume e da área do sistema radicular, e na concentração de 5% de sacarose observou-se que a matéria seca do sistema radicular decaiu a partir de 2g/tubete de osmocote, contribuindo assim para uma redução da matéria seca total das mudas.

Para a produção de mudas de cafeeiros por estaquia o uso de adubo de liberação lenta foi importante para um melhor desenvolvimento das características da parte aérea, enquanto que o uso de sacarose teve uma maior importância no crescimento do sistema radicular, fundamental para o estabelecimento futuro das mudas na fase de aclimação e plantio.

O fornecimento de 1,5 a 2,0 g/tubete de osmocote e de sacarose a 3% proporcionaram uma melhor formação de mudas propagadas por estacas caulinares de *Coffea arabica*.

## **5 CONCLUSÕES**

Tanto sacarose quanto osmocote apresentam efeito sobre o desenvolvimento de mudas de cafeeiros propagadas por estaquia

O osmocote contribuiu para um maior crescimento da parte aérea, e a sacarose para um melhor desenvolvimento do sistema radicular.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 270-280, abr./jun. 1999.

BALIZA, D. P. et al. Crescimento de estacas caulinares de cultivares de café em ambientes diferentes. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 2, p. 113-118, abr./jun. 2010.

BARBIZAN, E. L. et al. Produção de mudas de cafeeiro em tubetes associada a diferentes formas de aplicação de fertilizantes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 1471-1480, dez. 2002. Edição especial.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B. **lme4**: linear mixed-effects models using Eigen and syntax. R Package Version 0.999999-0. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

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, abr./jun. 2000.

BERNARDI, A. C. C.; CARMELLO, Q. A. C.; CARVALHO, S. A. de. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 733-738, out./dez. 2000.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 26, n. 2, p. 211-243, 1964.

CALVETE, E. O.; KÄMPF, A. N.; SUZIN, M. Concentração de sacarose no enraizamento *in vitro* de morangueiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 186-191, jun. 2002.

CAPELLADES, M.; LEMEURE, R.; DEBERGH, P. Effects of sucrose on starch accumulation and rate of photosynthesis in *Rosa* cultured *in vitro*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 21-26, 1991.

CAPOT, J. La producion de boutures de clones sélectionés de caféiers *canephora*. **Café, Cacao, Thé**, Paris, v. 10, n. 3, p. 219-227, 1966.

CARLSON, R. F. Factors influencing root formation in hardwood cutting of fruit trees. **Quaterly Bulletin Michigan Agricultural Experimental Station**, East Lansing, v. 48, n. 3, p. 449-454, 1966.

CARVALHO, A. et al. **Melhoramento de plantas no Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. 76 p.

CASTRO, P. R. C. Translocação de solutos orgânicos. In: REICHARDT, K.; FERRI, M. G.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1979. v. 1, p. 211-245.

CHALFUN, N. N. J. et al. Uso de ácido indolbutírico e da sacarose no enraizamento de estacas caulinares de porta-enxertos de videira 'RR 101-14'. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 389-393, 1992.

CHARNET, R. et al. **Análise de modelos de regressão linear**. Campinas: UNICAMP, 2008. 356 p.

CHEFFINS, N. J.; HOWARD, B. H. Carbohydrate changes in leafless winter Apple cuttings: I., the influence of level and duration of bottom heat. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 57, n. 1, p. 1-8, Jan. 1982a.

\_\_\_\_\_. Carbohydrate changes in leafless winter apple cuttings: II., effects of ambient air temperature during rootings. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 57, n. 1, p. 9-15, Jan. 1982b.

CONAGIN, A. et al. Efeito da falta de normalidade em testes de homogeneidade das variâncias. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 173-180, 1993.

COSTA, A. C. M. et al. Mudas em tubetes: novos componentes e misturas. **Informativo da Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Garça**, Garça, ano 5, n. 51, p. 14-15, 2000.

COUVILLON, G. A.; EREZ, A. Rooting survival and development of several peach cultivars propagated from semi hardwood cuttings. **Hortiscience**, Alexandria, v. 15, n. 1, p. 41-43, Feb. 1980.

FACHINELLO, J. C. et al. **Propagação de plantas frutíferas**. Pelotas: EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2005. 109 p.

\_\_\_\_\_. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. Pelotas: UFPel, 1995. 179 p.

FADELLI, S. **Custo de obtenção de cafeeiros híbridos**. Londrina: IAPAR, 1999. 25 p. Relatório de bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq/IAPAR.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2011.

FINER, L.; MESSIER, C.; GRANDPRÉ, L. de. Fine-root dynamics in mixed boreal conifer-broad-leaved forest stands at different successional stages after fire. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 27, n. 3, p. 304-314, Mar. 1997.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. 10<sup>th</sup> ed. New York: Hafner, 1948. 345 p.

FONSECA, A. F. A. et al. Jardins clonais, produção de sementes e mudas. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 229-252.

FORD, H. W.; REUTHER, W.; SMITH, P. F. Effect of nitrogen on root development of Valencia orange trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 70, p. 234-244, 1957.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} companion to applied regression**. 2<sup>nd</sup> ed. Thousand Oaks: Sage, 2011. Disponível em: <<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

GEORGE, E. F. **Plant propagation by tissue culture**. 2<sup>nd</sup> ed. Edington: Exegetics, 1996. 1361 p.

GILMOUR, A. R.; ANDERSON, R. D.; RAE, A. L. The analysis of binomial data by a generalized linear mixed model. **Biometrika**, London, v. 72, n. 3, p. 593-599, 1985.

GONÇALVES, S. M. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 743-752, maio/jun. 2009.

GROUT, B. W. W. Photosynthesis of regenerated plantlets in vitro, and stress of transplanting. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 230, p. 129-135, 1988.

GUIMARÃES, R. J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.):** efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de N e K em cobertura, no desenvolvimento de mudas. 1995. 67 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

HASSIG, B. E. Carbohydrate and amino acid concentrations during adventitious root primordium development in *Pinus banksiana* Lamb. Cutting. **Forestry Science**, Washington, v. 28, n. 4, p. 813-821, Dec. 1982.

HDIDER, C.; DESJARDINS, Y. Effects of sucrose on photosynthesis and phosphoenolpyruvate carboxylase activity of *in vitro* cultured strawberry plantlets. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 1, n. 36, p. 27-33, 1994.

HINDE, J. P.; DEMÉTRIO, C. G. B. Overdispersion: models and estimation. **Computational Statistics & Data Analysis**, New York, v. 27, n. 2, p. 151-170, 1998.

HOLCOMB, E. J. Cost and efficiency of slow release fertilizer. **Pennsylvania Flower Growers Bulletin**, Pennsylvania, v. 316, p. 9-10, 1979.

INFORZATO, R. O emprego de hormônios no enraizamento de estacas de cafeeiro. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, Belo Horizonte, v. 21, p. 288-293, 1946.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, Belo Horizonte, v. 23, p. 736-740, 1948.

JANICK, J. A. **A ciência da horticultura**. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1966. 485 p.

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

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

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

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA**: manual de utilização. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2010. 29 p.

KAINUMA, R. H. et al. Qualidade de mudas de *Coffea arabica* L. desenvolvidas em diferentes substratos e doses de adubo de liberação lenta. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: UFES, 2001. p. 127.

KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments**. New York: J. Wiley, 1952. 631 p.

LEAKEY, R. R. B.; COUTTS, M. P. The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* cuttings: their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. **Tree Physiology**, Oxford, v. 5, p. 135-146, 1989.



LEIFERT, C.; MURPHY, K. P.; LUMSDEN, P. J. Mineral and carbohydrate nutrition of plant cell and tissue cultures. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 2, p. 83-109, 1995.

MARANA, J. P. et al. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, jan./fev. 2008.

MARCUZZO, K. V. et al. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes substratos e doses de fertilizante de liberação gradual. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 57-63, jan./abr. 2005.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Chapman & Hall, 1989. 511 p.

MELO, B. de; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Doses crescentes de fertilizante de liberação gradual na produção de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 17, n. 1, p. 97-113, 2001.

\_\_\_\_\_. Doses crescentes de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 1999. p. 174-175.

MENDES, J. E. T. Melhoramento de *Coffea arabica* L. var. bourbon. **Bragantia**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 3-35, 1950.

MENDONÇA, V. et al. Osmocote e substratos alternativos na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 799-806, jul./ago. 2004.

MÜLLER, M. L. et al. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo em tubetes. **Revista UNIMAR**, Marília, v. 19, n. 3, p. 777-786, 1997.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society, Series A**, London, v. 135, p. 370-384, 1972.

NETER, J. et al. **Applied linear statistical models**. Chicago: Irwin, 1996. 1408 p.

NUNES, J. A. R.; MORAIS, A. R.; BUENO FILHO, J. S. S. Modelagem da superdispersão em dados por um modelo linear generalizado misto. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 55-70, 2004.

OLIVEIRA, D. H. et al. Influência do comprimento de estacas e ambientes no crescimento de mudas cafeeiras obtidas por enraizamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 183-189, maio/ago. 2010.

ORTON, P. J. The influence of water stress and abscisic acid on the root development of *Chrysanthemum morifolium* cuttings during propagation. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 54, n. 3, p. 171-180, July 1979.

PASQUAL, M. et al. **Fruticultura comercial: propagação de plantas frutíferas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 137 p.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, A. E. **Produção de mudas de café conilon por estacas**. Rio de Janeiro: MIC/IBC/GERCA, 1985. 12 p.

PEREIRA, A. B. et al. Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em diferentes substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 741-748, jul./ago. 2002.

\_\_\_\_\_. Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em estufim. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 2001. p. 1781-1787.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007. 561 p.

REZENDE, T. T. et al. Comparação entre mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por diferentes tipos de segmentos do ramo ortotrópico, e conduzidas em dois ambientes diferentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 5., 2009, Guarapari. **Anais...** Vitória: INCAPER, 2009. 1 CD-ROM.

\_\_\_\_\_. Types of stem cuttings and environments on the growth of coffee stem shoots. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 387-391, Sept./Oct. 2010.

SCHEFFÉ, H. **The analysis of variance**. New York: J. Wiley, 1959. 477 p.

SILVA, J. C. da et al. Invertase and sucrose synthase activities in coffee plants sprayed with sucrose solution. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 239-244, abr./jun. 2003.

SIQUEIRA, A. L. **Uso de transformação em análise de variância e análise de regressão**. 1983. 154 f. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1983.

SMART, D. R. et al. Dormant buds and adventitious root formation by *Vitis* and other woody plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 21, n. 4, p. 296-314, Dec. 2002.

SMITH, P. F. Effect of nitrogen source and placement on the root development of Valencia oranges trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 78, p. 55-59, 1965.

SOMAVILLA, N. S.; RIBEIRO, D. G. Análise comparativa da anatomia foliar de Melastomataceae em ambiente de vereda e cerrado *sensu stricto*. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 25, n. 4, p. 764-775, 2011.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; CARMELLO, Q. A. C.; FARIA, J. C. Características químicas do lixiviado na fase de enraizamento de estacas de cacau em substratos adubados com fósforo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1573-1581, jul./ago. 2008.

THOMAS, P.; SCHIEFELBEIN, J. Cloning and characterization of an actin depolymerizing factor gene from grape (*Vitis vinifera* L.) expressed during rooting in stem cuttings. **Plant Science**, Shannon, v. 162, n. 2, p. 283-288, Feb. 2002.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 319-323, Sept. 2002.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics**. 4<sup>th</sup> ed. New York: Springer, 2002. 495 p.

VIERSKOV, B.; ERIKSEN, E. N. Dynamics of extractable carbohydrates in *Pisum sativus* L.: I., carbohydrate and nitrogen content in pea plants and cuttings grow at two different irradiances. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 55, n. 2, p. 167-173, Feb. 1982.

VILANOVA, M. T. Propagación vegetativa del café. **Café Salvador**, San Salvador, n. 29, p. 669-681, 1959.

WIESMAN, Z.; LAVEE, S. Relationship of carbohydrate sources and indole-3butyric acid in olive cuttings. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 22, n. 5, p. 811-816, May 1995.

## ANEXO

### ANEXO A - códigos utilizados para a análise estatística realizada no software R

A seguir são apresentados os códigos utilizados para a análise estatística realizada no software R.

```
# Leitura dos dados #

dad <- read.table("arquivo de dados", header=TRUE)
dad$osmocote <- as.factor (dad$osm)
dad$sacarose <- as.factor (dad$sac)
attach(dad)

# Análise de variância #

library(ExpDes)
fat2.crd(osm, sac, "variável resposta" ,
        quali = c(FALSE,FALSE) ,
        fac.names = c("Osmocote","Sacarose") ,
        sigT = 0.05, sigF = 0.05)

# Análise gráfica dos resíduos #

modelo <- lm("variável resposta" ~ osmocote*sacarose)
plot.lm(modelo)

# Transformação dos dados #

require(MASS)
boxcox(modelo)
locator()

# Ajuste do modelo de regressão #

#Polinomial
# Modelo cúbico
reg.0 <- lm("variável resposta" ~ osm + I(osm^2) + I(osm^3))
# Modelo quadrático
reg.1 <- lm("variável resposta" ~ osm + I(osm^2))
# Modelo linear
reg.2 <- lm("variável resposta" ~ osm)

#Recíproca
```

```

reg.0 <- lm("variável resposta" ~ I(1/(sac+0.5))+ I(1/((sac+0.5)^2)))
reg.1 <- lm("variável resposta" ~ I(1/(sac+0.5)))

# Teste da falta de ajuste #
anova(reg.0,reg.2)
anova(reg.0,reg.1)

# Gráfico do modelo ajustado com o valor predito e o intervalo de
# confiança

# Valores preditos #

reg.1.pred <- predict(reg.1)
dad$pred <- reg1.pred

# Gerando uma sequencia com 100 ponto no intervalo das doses de osmocote

osm.new <- seq(0,3, length=100)
Y <- predict(reg1, newdata=data.frame(osm=osm.new, osm2=(osm.new^2)),
            interval="confidence")

# Gerando o gráfico

curve(39.293523+34.483723*x-9.214062*x*x      ,
      type="l",xaxs="i",yaxs="i"          ,
      xlim=c(0,3),ylim=c(0,100)         ,
      lty=1,lwd=2, col=1, add=F         ,
      ylab="Comprimento total das raízes(cm)" ,
      xlab="Osmocote (g/tubete)"         ,
      bty="l",xaxt="n"                   ,
      cex.lab=1.5                         ,
      cex.axis=1.5                       ,
      mgp=c(2.4,0.8,0))

axis(1,at=c(0,1,2,3),lab=expression(0,1,2,3),cex.axis=1.5)

matlines(osm.new, Y, col=c(1,1,1),lwd=c(3,2,2), lty=c(1,2,2))

legend(0,100, c("Predito","Intervalo de Confiança"),
      lty=c(1,2), lwd=c(3,2), col=c(1,1), bty="n", cex=1.1)

co <- format(c(coef(reg.1),
              ((anova(reg.1)[1,2] + anova(reg.1)[2,2]) / anova(mod1)[1,2])),
            digits=3)

text(2,95, label=substitute(y==b0~+~b1*~osm~--~b2*~osm^2~--~(R^2==r2),
                          list(b0=co[1], b1=co[2], b2=co[3], r2=co[4])),
      bty="n", cex=1.2)

```

```
# Superfície de resposta para matéria seca total (mst)
# para matéria seca das raízes e matéria seca ortotrópico procedimento
# análogo
```

```
# Modelo completo, com 11 termos #
```

```
mod0 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  osm:I(sac^2) +
  I(osm^2):sac +
  I(osm^2):I(sac^2) +
  I(osm^3) +
  I(osm^3):I(sac^2) +
  I(osm^3):sac )
```

```
# - I(osm^3):sac
```

```
mod1 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  osm:I(sac^2) +
  I(osm^2):sac +
  I(osm^2):I(sac^2) +
  I(osm^3) +
  I(osm^3):I(sac^2) )
```

```
anova(mod1,mod0)
```

```
# - I(osm^3):I(sac^2)
```

```
mod2 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  osm:I(sac^2) +
  I(osm^2):sac +
  I(osm^2):I(sac^2) +
  I(osm^3) )
```

```
anova(mod2,mod0)
```

```
# - I(osm^3)
```

```
mod3 <- lm (mst ~
```

```

osm      +
sac      +
osm:sac  +
I(osm^2) +
I(sac^2) +
osm:I(sac^2) +
I(osm^2):sac +
I(osm^2):I(sac^2) )

```

```
anova(mod3,mod0)
```

```

# - I(osm^2):I(sac^2)
mod4 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  osm:I(sac^2) +
  I(osm^2):sac )

```

```
anova(mod4,mod0)
```

```

# - I(osm^2):sac
mod5 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  osm:I(sac^2) )

```

```
anova(mod5,mod0)
```

```

# - osm:I(sac^2)
mod6 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(sac^2) +
  I(osm^2):sac )

```

```
anova(mod6,mod0)
```

```

# - I(sac^2)
mod7 <- lm (mst ~
  osm      +
  sac      +
  osm:sac  +
  I(osm^2) +
  I(osm^2):sac )

```



```

anova(mod7,mod0)

# - I(osm^2)
mod8 <- lm (mst ~
           osm      +
           sac      +
           osm:sac  +
           I(sac^2) +
           I(osm^2):sac )

anova(mod8,mod0)

# - osm:sac
mod9 <- lm (mst ~
           osm      +
           sac      +
           I(sac^2) +
           I(osm^2):sac )

anova(mod9,mod0)

#Modelo final

mod9 <- lm (mst ~
           osm      +
           sac      +
           I(sac^2) +
           I(osm^2):sac )

#Coeficientes
summary(mod9)
anova(mod9)

# Gerando o gráfico da superfície de resposta #

require(lattice)

O <- seq(0,3,l=20)
S <- seq(0,5,l=20)

p1 <- expand.grid(osm=seq(0,3,l=20), sac=seq(0,5,l=20))

```

```

p1$mst <- predict(mod1, newdata=p1)

panel.3d.contour <- function(x, y, z, rot.mat, distance, type="on",
                             nlevels=12, zlim.scaled, col.contour=1, ...){
  clines <- contourLines(x, y, matrix(z, nrow=length(x), byrow=TRUE), nlevels=nlevels)
  if(any(type%in%c("bottom"))){
    for(ll in clines){
      n <- ltransform3dto3d(rbind(ll$x, ll$y, zlim.scaled[1]), rot.mat, distance)
      panel.lines(n[1,], n[2,], col=col.contour, lty=1, lwd=1)
    }
  }
  panel.3d.wire(x, y, z, rot.mat, distance, zlim.scaled=zlim.scaled, ...)
  if(any(type%in%c("on"))){
    for(ll in clines){
      n <- ltransform3dto3d(rbind(ll$x, ll$y, ll$level), rot.mat, distance)
      panel.lines(n[1,], n[2,], col=col.contour, lty=1, lwd=1)
    }
  }
}

require(manipulate)

manipulate({
  colr <- colorRampPalette(c(c1, c2, c3, c4, c5, c6), space="rgb")
  wireframe(mst~osm*sac,
            sub=(list("z = 0.8844 + 0.1045Osm + 0.1258Sac - 0.0172Sac2 - 0.0068OsmSac",cex=1.3)),
            zlab=list("Massa seca total (g/planta)" ,cex=2,rot= 90),
            xlab=list("Osmocote (g/tubte)" ,cex=2,rot= 30),
            ylab=list("Sacarose (%)" ,cex=2,rot=-35),
            data=p1,
            scales=list(arrows=FALSE,cex=1.5),
            col="gray30", col.contour="gray30",
            panel.3d.wireframe="panel.3d.contour",
            col.regions=colr(100), drape=TRUE,
            screen=list(z=z.angle, x=x.angle)
  )},
  z.angle=slider(0 , 360 , step=10 , initial= 40) ,
  x.angle=slider(-180 , 0 , step=5 , initial=-75) ,
  c1=picker("red2"),
  c2=picker("orange2"),
  c3=picker("orange"),
  c4=picker("yellow2"),
  c5=picker("green3"),
  c6=picker("blue3")
)

# Gráfico de contorno #

require(RColorBrewer)

colr <- brewer.pal(11, "RdYlGn")
colr <- colorRampPalette(colr, space="rgb")

```

```

zlab <- "Massa seca total (g/muda)"
xlab <- "Osmocote (g/tubete)"
ylab <- "Sacarose (%)"

library(grid)

require(latticeExtra)

p <- levelplot(mst~osm*sac, data=p1, col.regions=colr(100),
  xlab=list(xlab,cex=2), ylab=list(ylab,cex=2),
  scales=list(arrows=FALSE,cex=1.5),
  panel=function(..., at, contour=FALSE,
    labels=NULL){
    panel.levelplot(..., at=at, contour=contour,
      labels=labels)
    panel.contourplot(..., at=at, contour=TRUE,
      labels=list(labels=format(
        at, digits=2),
        cex=1))
  },
  par.settings=list(
    layout.widths=list(right.padding=3)))
p$legend$right <- list(fun=mergedTrellisLegendGrob(p$legend$right,
  list(fun=textGrob,
    args=list(rep(zlab),
      rot=-90,
      x=1,
      gp = gpar(cex = 2))),
  vertical=FALSE ))

print(p)

# Modelo linear generalizado misto #
# Leitura dos dados #

dados <- read.table("arquivo de dados", header=TRUE) # dados por planta
dados$osmocote <- as.factor (dad$osm)
dada$sacarose <- as.factor (dad$sac)
dados$parcela <- as.factor (dad$parcela)
attach(dados)

# Carregando os pacotes #

library(lme4)
library(car)

# Modelo Poisson misto para número de folhas novas (nfn) e folhas total (nft)
m.nfn <- glmer(nfn ~ osmocote*sacarose + (1 | parcela), family=poisson)
Anova(m.nfn) # Efeito de osmocote
# Modelo com osmocote

```

```
mo.nfn <- glmer(nfn ~ osmocote + (1 | parcela), family=poisson)
# Gráfico com os valores preditos
plot(osmocote,fitted(mo.nfn),
     ylim=c(0,10),
     cex.axis=1.1 )

# Modelo Binomial misto para número de folhas remanescentes e número de brotos
# Dados
nfr.r <- cbind(as.real(dados$nfr==2),1-as.real(dados$nfr==2)) # folhas remanescentes
nb.r <- cbind(as.real(dados$nb==2),1-as.real(dados$nb==2)) # número de brotos
# Modelos
m.nb <- glmer(nb.r ~ osmocote*sacarose + (1 | parcela), family=binomial)
Anova(m.nb) # Sem efeito dos fatores

m.nfr <- glmer(nfr.r ~ osmocote*sacarose + (1 | parcela), family=binomial)
Anova(m.nfr) # Efeito de osmocote
mo.nfr <- glmer(nfr.r ~ osmocote + (1 | parcela), family=binomial)
# Gráfico com os valores preditos
plot(osmocote,fitted(mo.nfr),
     ylim=c(0,1.0),
     cex.axis=1.1 )

# Fim #
```