

Métodos de regressão não linear para determinação de tamanho de parcelas em ensaio com sistema radicular de mudas de cafeeiro.¹

Katia Alves Campos – IFSULDEMINAS²

Augusto Ramalho de Moraes – DEX, UFLA³

Franciane Diniz Cogo – IFSULDEMINAS⁴

Sérgio Luiz Santana de Almeida – IFSULDEMINAS⁵

Patriciani Estela Cipriano – IFSULDEMINAS⁶

Resumo: *O café é uma das bebidas mais populares do mundo, com grande relevância para economia mundial e principalmente para a do Brasil. A pesquisa na cafeicultura tem possibilitado o desenvolvimento de novas tecnologias, variedades, redução dos custos de produção, melhor qualidade e maior produtividade. Determinar um tamanho ótimo para parcelas experimentais é de fundamental importância, no que diz respeito, ao maior aproveitamento e menor custo benefício para experimentos com mudas de café. Estimar o número de mudas para avaliação de tratamentos visa diminuir o erro experimental, maximizar a precisão das informações obtidas e até reduzir os recursos financeiros empregados. Neste trabalho, objetivou-se estimar o tamanho ótimo de parcelas para experimentos, onde é avaliado o desenvolvimento radicular de mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192. Um ensaio de uniformidade com essa cultivar foi conduzido e a unidade básica foi definida como uma muda. Foram avaliadas a fitomassa radicular fresca e seca em gramas; e o comprimento radicular em centímetros. Após a simulação dos 14 tamanhos de parcela, através do agrupamento das unidades básicas adjacentes, foi estimado o coeficiente de variação médio para cada tamanho de parcela. Com base nessa estatística, foram estimados os índices de variabilidade radicular e o tamanho ótimo de parcela, utilizando dois modelos de regressão não linear: o método da máxima curvatura modificado e o modelo segmentado linear com platô de resposta, que estimaram tamanhos de parcela diferentes. O tamanho de parcela sugerido pelo método mais exigente para ensaios com mudas de café da cultivar Rubi MG 1192 foi estimado em 12 mudas.*

Palavras-chave: *Coffea arabica, Rubi MG 1192, modelo regressão segmentado, precisão experimental.*

1. INTRODUÇÃO

O café pertence à família das rubiáceas e o gênero *Coffea* compreende as espécies de maior importância econômica que são *C.arabica* e *C. canephora* (MATIELLO et al., 2005). O país chegou a responder por 80% da produção mundial, mas sua participação é decrescente, mesmo ainda sendo o maior exportador. E ainda com o agravante de ser conhecido como um exportador de quantidade, e não de qualidade, recebendo preços mais baixos do que a média (ORMOND et. al, 1999).

A pesquisa em cafeicultura é de grande importância, pois busca solucionar os problemas enfrentados pelos cafeicultores, melhorar a qualidade do café, aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção, desenvolver novas variedades e diminuir os ataques de pragas e doenças. Normalmente, em ensaios com mudas de café, utilizam-se parcelas grandes com muitas repetições. Teoricamente quanto maior o tamanho da parcela, menor o erro experimental, mas esta relação não é linear, e a partir de certo tamanho o ganho em precisão é muito pequeno. Encontrar o tamanho ótimo de parcelas é em qualquer cultura, de fundamental

¹ Trabalho financiando pela FAPEMIG e pelo CNPq.

² Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária da UFLA, prof. do IFSULDEMINAS – campus Machado.

³ Prof. Dr. do Departamento de Ciências Exatas da UFLA, Bolsista do CNPq.

⁴ Mestranda do Departamento de Agricultura da UFLA.

⁵ Especialista em Cafeicultura Orgânica, técnico do IFSULDEMINAS – campus Machado.

⁶ Graduanda em Engenharia Agrônoma do IFSULDEMINAS – campus Machado.

importância, no que diz respeito ao maior aproveitamento e ao menor custo benefício para experimentos, ainda mais com as mudas de café, que têm importância tão grande no mercado mundial.

A cultivar Rubi foi originada da hibridação entre a cultivar Mundo Novo e a Catuaí, pelo Instituto Agrônomo de Campinas e o híbrido resultante H-5010 foi introduzido e selecionado em Minas Gerais pela EPAMIG e UFLA e a partir de 1995 foi lançada a linhagem Rubi MG 1192 para cultivo comercial (PIMENTA, 2003).

As raízes do cafeeiro têm função de sustentação, absorção de água e nutrientes minerais e orgânicos, assimilação de vários nutrientes, produção de substâncias orgânicas complexas entre elas reguladores de crescimento e aminoácidos, armazenamento e distribuição de diversos nutrientes. (RENA & GUIMARÃES, 2000). Em estudos com mudas de café quando o objetivo é analisar seu desenvolvimento radicular, normalmente avaliam-se o comprimento, a fitomassa fresca e seca dessas raízes.

Tendo em vista a importância da cultura cafeeira e de seu sistema radicular, este trabalho objetivou determinar o tamanho ótimo de parcelas para a fitomassa seca e fresca do sistema radicular e seu comprimento, utilizando-se do método da máxima curvatura modificado e do modelo de regressão segmentado com platô de resposta linear.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no viveiro de café no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – Campus Machado, com a cultivar Rubi MG 1192, no ano agrícola 2008/2009. O semeio e os manejos foram realizados de acordo com MATIELLO et al. (2005). As plantas foram dispostas em 14 fileiras com 14 plantas em cada linha, foram descartadas a primeira e última fileira e a primeira e última linha, que tiveram, portanto a função de bordadura. Utilizaram-se, 144 mudas que individualmente caracterizavam a unidade básica (UB).

As avaliações ocorreram quando as plantas atingiram o sexto par de folhas definitivas, e as variáveis respostas mensuradas para este trabalho foram: o peso da fitomassa fresca e seca radicular em gramas, obtidos em balança digital e o comprimento radicular em centímetros, medido com régua milimetrada.

Cada uma das 144 UB foi utilizada, através do agrupamento de UB adjacentes, para simular os 14 possíveis tamanhos de parcelas, que apresentava o número de mudas divisor do total de mudas do ensaio. Não foram consideradas as formas das parcelas; assim, por exemplo, parcelas com 6 mudas, tiveram seus coeficientes de variação calculados para cada uma das quatro formas possíveis (1x6, 2x3, 3x2 e 6x1) e posteriormente foi calculado o coeficiente de variação médio para este tamanho de parcela CV(X).

Para determinação do tamanho ótimo de parcela adotaram-se dois modelos de regressão não linear o método da curvatura modificado e o modelo de regressão segmentado com platô de resposta linear.

Para o primeiro, ajustou-se a seguinte função:

$$CV(X) = aX^{-b} \quad [1]$$

em que:

CV(X) é o coeficiente de variação médio para cada tamanho de parcela;

X é o tamanho de parcela;

a é a constante de regressão;

b o coeficiente de regressão.

Para estimação do tamanho ótimo de parcela, pelo método da máxima curvatura modificado (MEIER & LESSMAN, 1971), utilizou-se a expressão:

$$X_o = \left[\frac{a^2 b^2 (2b+1)}{b+2} \right]^{\frac{1}{2+2b}} \quad [2]$$

em que:

X_o é o valor da abscissa no ponto de máxima curvatura, que corresponde à estimativa do tamanho ótimo da parcela experimental;

a e b foram obtidos em [1].

Para o segundo, o modelo está apresentado em [3], apresenta dois segmentos de reta, um decrescente e o outro um platô, paralelo ao eixo horizontal (PEIXOTO, 2008). A interseção destes segmentos determina P , que é a ordenada correspondente ao coeficiente de variação onde o ampliação da parcela deixa de ter aumento significativo na precisão do ensaio, e, portanto determina o tamanho ideal de parcela, no eixo horizontal:

$$CV(X) = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i, & \text{se } X \leq X_0 \\ P + \varepsilon_i, & \text{se } X > X_0 \end{cases} \quad [3]$$

Onde:

$CV(X)$ é o coeficiente de variação médio para cada tamanho de parcela;

β_0 e β_1 são os parâmetros a serem estimados;

P é o platô;

X é cada tamanho de parcela;

X_0 é o tamanho ideal de parcela;

ε_i é o erro associado à cada observação $CV(X)$ correspondente, considerado independente e normalmente distribuído com média zero e variância constante.

Assim sendo, $[P, X_0]$ é o ponto de junção dos dois segmentos determinados por [3] e representa o coeficiente de variação onde o ganho de precisão com o aumento da parcela não é mais significativo e, portanto determina o tamanho ideal da parcela.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com utilização de rotinas desenvolvidas no programa “R” (R Development Core Team, 2009).

3. RESULTADOS

O número de mudas para cada tamanho de parcela foi tomado a partir dos agrupamentos de mudas adjacentes, com os quais se calculou o coeficiente de variação. Para que fossem desconsideradas as formas, quando mais de um agrupamento apresentou o mesmo número de mudas tiveram seus coeficientes de variação médios calculados (Tabela 1), para que fossem desconsideradas as formas.

Tabela 1: Tamanhos de parcelas, em número de mudas, e coeficientes de variação médios com raízes de cafeeiro - cultivar Rubi MG 1192, obtidos no ensaio em branco realizado no IFSULDEMINAS – campus Machado.

Tamanho da parcela	Coeficiente de Variação Médio (%)		
	Fitomassa seca radicular	Fitomassa verde radicular	Comprimento radicular
1	35,16269179	10,32406256	17,15612694
2	24,34410878	7,46408424	11,19813951
3	20,55004338	6,28701066	9,89995334
4	16,75443576	5,38063780	8,12144098
6	13,58736725	4,32431513	6,54830695
8	11,43381011	3,78575493	5,96404169
9	10,27083577	3,68410869	5,42115213
12	9,96636953	3,29760801	4,78853417
16	7,02366510	1,74456355	2,44590383
18	6,58733301	2,08664502	3,33097162
24	7,31844718	1,61748889	2,41575219
36	5,22762527	1,58586672	2,17673607
48	4,72463728	1,60900379	1,28486364
72	5,07737224	0,85761251	0,41230218

Como era de se esperar os coeficientes de variação médios diminuíram com o aumento do tamanho da parcela, mas não de maneira linear.

Aos valores calculados para os coeficientes de variação foram aplicados os métodos propostos através da implementação de rotinas no “R” (R Development Core Team, 2009)

O método da máxima curvatura modificado (Figura 1) apresentou ajustes muito bons, ficando acima de 90% para as três variáveis em estudo. Os tamanhos ideais de parcelas, arredondados para cima, foram estimados em 8 mudas para a fitomassa seca radicular; 2 mudas para a fitomassa fresca radicular e 5 mudas para o comprimento radicular.

Através do método segmentado de regressão (Figura 2), podemos verificar que os tamanhos ideais, novamente arredondados para o maior valor, são para a fitomassa seca radicular 9 mudas, para a fitomassa fresca radicular 12 mudas e para o comprimento radicular 11 mudas.

O tamanho ótimo de parcela sobre estudos com o sistema radicular de mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192 varia de 2 até 12 plantas por parcela de acordo com o método de estimação e a variável em estudo.

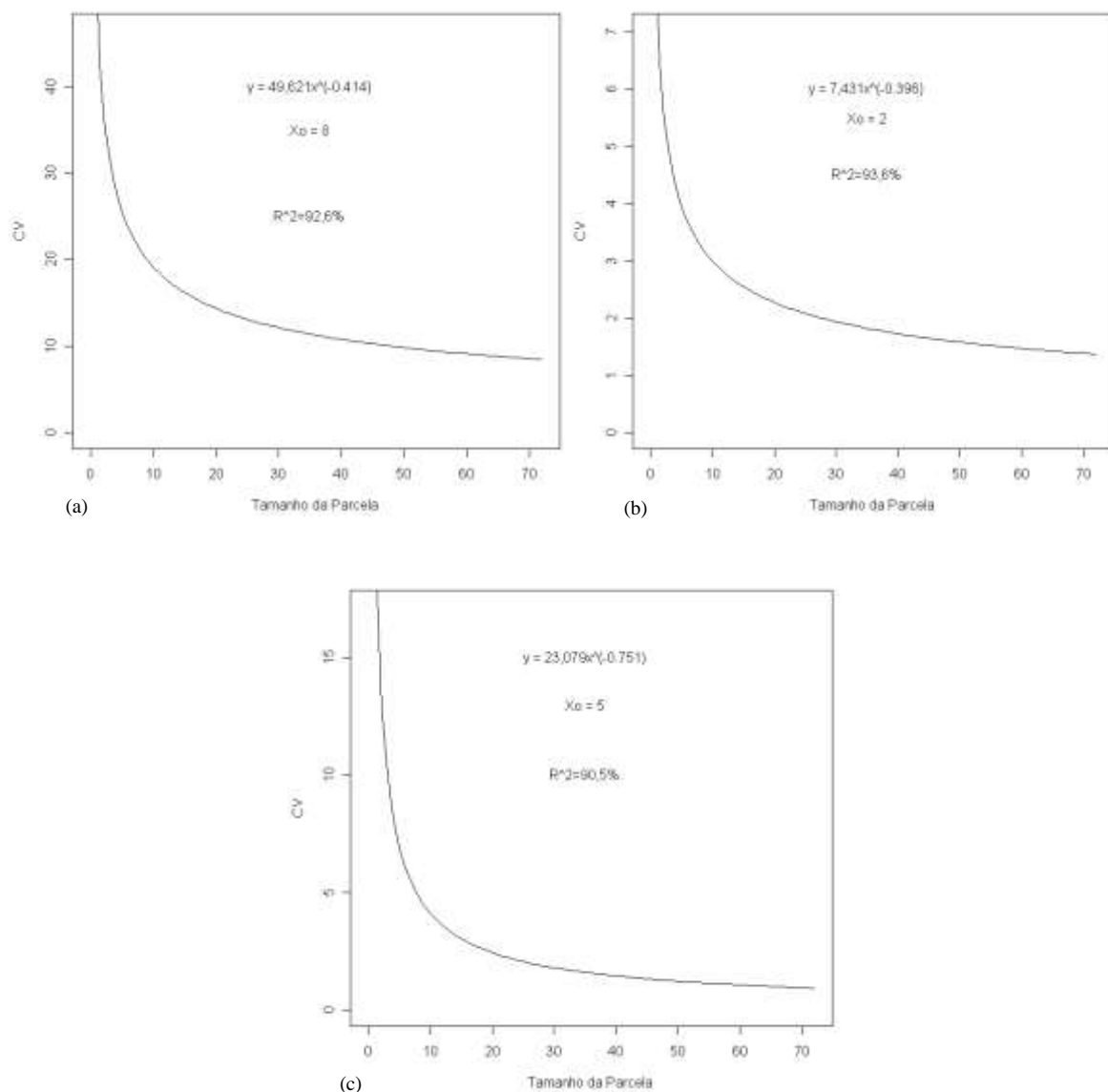


Figura 1 – Representação gráfica obtida pelo método da máxima curvatura modificado, com os dados do coeficiente de variação médio (CV), em função do tamanho de parcela para (a) fitomassa seca radicular, (b) fitomassa verde radicular e (c) comprimento das raízes, de mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192. Onde X_0 é o tamanho de parcela calculado e R^2 o coeficiente de determinação para cada variável em estudo.

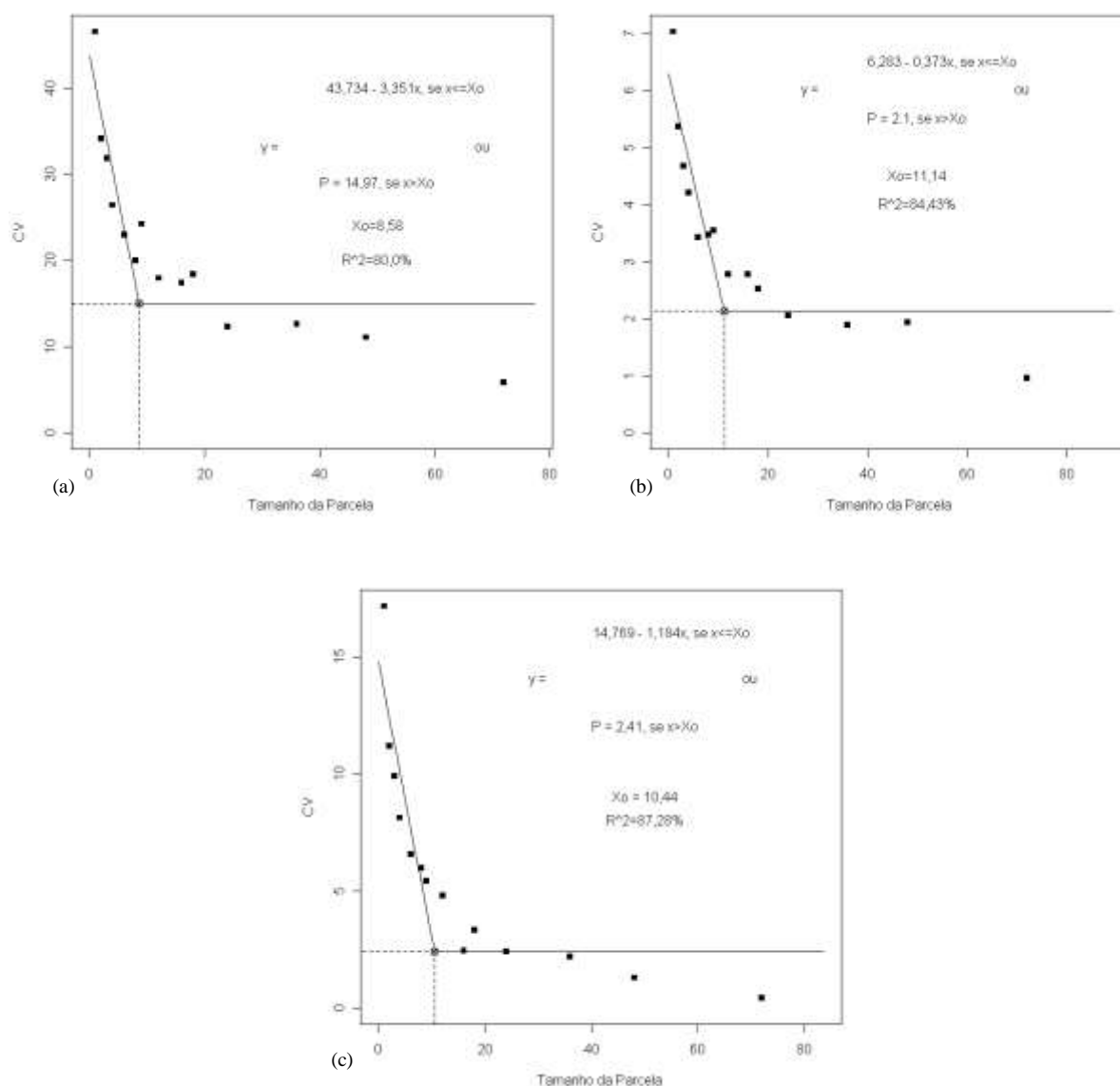


Figura 2 – Representação gráfica obtida pelo método de regressão linear com platô de resposta, calculado com os dados do coeficiente de variação médio (CV) em função do tamanho de parcela para (a) fitomassa seca radicular, (b) fitomassa fresca radicular e (c) comprimento das raízes, de mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192. Onde X_0 é o tamanho de parcela calculado e R^2 o coeficiente de determinação para cada variável em estudo.

O resumo dos tamanhos de parcelas estimados pelos modelos não-lineares de regressão estão apresentados na tabela 2, onde podemos verificar que o método modelo de regressão linear segmentado com platô de resposta, quando comparado ao método da máxima curvatura modificado, apresenta coeficientes de determinação R^2 menores, mas também altos, acima de 80%; e também tamanhos de parcelas maiores.

TABELA 2. Estimativas do número de mudas, como área útil do tamanho ótimo da parcela para pesquisas com a raiz de mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192.

Variável resposta	Máxima Curvatura Modificado (em n° de mudas)	Coefficiente de Determinação - R^2 (em %)	Regressão linear com platô de resposta (em n° de mudas)	Coefficiente de Determinação - R^2 (em %)
Fitomassa radicular seca	8	92,6	9	80,0
Fitomassa radicular fresca	2	93,6	12	84,4
Comprimento radicular	5	90,5	11	87,3

Como na maioria dos ensaios, com a parte radicular das mudas de cafeeiro da cultivar Rubi MG 1192, existe o interesse nas três variáveis em estudo: as fitomassas seca e fresca e o comprimento radicular, sugere-se que tais experimentos adotem a maior parcela simulada.

CONCLUSÃO

O tamanho ótimo de parcelas varia de acordo com a variável em estudo e com o método utilizado para a estimação. O modelo de platô linear estima tamanhos de parcelas maiores. Em experimentos cujo objetivo é a avaliação do desenvolvimento radicular da cultivar Rubi MG 1192 deve-se usar de 8 a 12 mudas de café.

REFERÊNCIAS

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. MAPA/PROCAFÉ e Fundação Procafé, 2005. 434p.

MEIER, V. D.; LESSMAN, K. J. Estimation of plotium field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 648-650, 1971.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FAVERET FILHO, P. Café (re)conquista de mercados. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, p. 3-56, set. 1999. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1001.pdf>. Acesso em 15 abr 2010.

PEIXOTO, A.P. **Estimação do tamanho de parcelas para experimentos de conservação *in vitro* de maracujazeiro**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

PIMENTA, C.J. **Qualidade de café**. Lavras. Editora UFLA, 2003.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. ISBN 3-900051-07-0.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores q Influenciam. Belo Horizonte.EPAMIG, 2000. 80p.