

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA EXPERIMENTAL PARA EXPERIMENTOS COM REPOLHO UTILIZANDO SIMULAÇÃO E MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO

Rogério Carvalho Guarçoni¹, Jacimar Luís de Souza², Luiz Fernando Favarato³, Maria da Penha Angeletti⁴ e Douglas Vianna Bahiense⁵

¹Engenheiro Agrícola, D.Sc. Pesquisador do INCAPER - CRDR Centro Serrano, Domingos Martins-ES, rogerio.guarconi@incaper.es.gov.br; ²Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Pesquisador do INCAPER/Domingos Martins-ES, jacimarsouza@yahoo.com.br; ³Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Pesquisador do INCAPER - CRDR Centro Serrano, Domingos Martins-ES, lffavarato@gmail.com; ⁴Engenheira Agrônomo, M.Sc. Pesquisadora do INCAPER - CRDR Centro Serrano, Domingos Martins-ES, penha.incaper@gmail.com; ⁵Engenheiro Agrônomo, Bolsista de Apoio Técnico FAPES/INCAPER - CRDR Centro Serrano, Domingos Martins-ES, douglas.bahiense@yahoo.com.br

RESUMO - No planejamento experimental, o tamanho da parcela é determinante para o sucesso da pesquisa. Os pesquisadores devem definir a parcela experimental visando aumentar a precisão através das informações obtidas, além de minimizar a relação custo/benefício do experimento. O objetivo deste trabalho foi estimar o tamanho ótimo de parcela para experimentos com repolho e verificar se os métodos do modelo da regressão linear de resposta a platô e da curvatura máxima modificado são adequados para esta estimação. O tamanho ótimo da parcela para avaliar as características massa, diâmetro e compacidade do repolho foi, respectivamente de 16, 7 e 5 plantas por parcela útil, pelo método da curvatura máxima modificado. Utilizando o método da regressão linear com resposta a platô, o tamanho ótimo da parcela foi de 20 plantas por parcela útil para as três características. O método da regressão linear de resposta a platô mostrou-se adequado para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais para as três características estudadas, no entanto, o método da curvatura máxima modificado mostrou-se adequado para determinar somente o tamanho ótimo de parcela para a característica massa.

PALAVRAS-CHAVE: Bootstrap. Planejamento de experimentos. *Brassica oleracea*.

ABSTRACT - In the experimental design, the plot size is crucial to the success of the research. Researchers must define the experimental plot to increase the accuracy of the information obtained and minimizing the relationship cost / benefit of the experiment. The objective of this study was to estimate the optimal plot size for experiments with cabbage and verify that the methods of linear response plateau and the modified maximum curvature are suitable for this estimation. The optimum plot size to evaluate the mass, diameter and compactness characteristics of cabbage was, respectively, 16, 7 and 5 plants per plot, the modified maximum curvature method. Using the linear response plateau method, the optimum plot size was 20 plants per plot useful for the three characteristics. The linear response plateau method was adequate to determine the optimal plots size for the three characteristics, however, the modified maximum curvature method was adequate to determine only the optimum plot size for mass characteristic.

KEYWORDS: Bootstrap. Design of experiments. *Brassica oleracea*.

1 INTRODUÇÃO

No Espírito Santo a olericultura representou 867,4 milhões de reais, ou seja, 10,36% do Valor Bruto da Produção Agropecuária – VBPA do Estado em 2015, sendo superada pela cafeicultura, produção animal e fruticultura, representando, respectivamente, 35,47, 28,85 e 12,31% do VBPA (ESPÍRITO SANTO, 2016).

Diante da importância da olericultura no contexto socioeconômico Capixaba, há necessidade de disponibilizar ao produtor rural novas tecnologias de produção, colheita e pós-colheita, através da geração de novas pesquisas.

A pesquisa na olericultura tem contribuído para o desenvolvimento de novas variedades, melhor qualidade, maior produtividade, entre outros, buscando solucionar problemas enfrentados pelos produtores rurais. O tamanho de parcelas para experimentos com repolho é variável e baseado na maioria das vezes na experiência do pesquisador, como por exemplo Léo, Sousa e Silva (2000) que trabalharam com 16 plantas na parcela útil na avaliação das características produção total de cabeças, peso médio das cabeças, índice de formato, relação comprimento do coração/diâmetro longitudinal, compactidade da cabeça, ciclo, porcentagem de cabeças com podridão bacteriana e porcentagem de plantas perfilhadas e com florescimento prematuro, de cultivares e híbridos de repolho no Estado do Acre.

Silva et al. (2012a), também utilizaram parcelas experimentais com 16 plantas úteis, num experimento que avaliaram os teores de boro foliar, área foliar, número de folhas externas, número de folhas internas, altura e diâmetro transversal da cabeça, compactidade e peso da cabeça, de cultivares de repolho em função de doses de boro.

Já Oliveira, Costa e Costa (1999), avaliaram o peso médio e a produção total de cabeças, o índice de formato, a compactidade de cabeça, e a suscetibilidade à podridão negra, de híbridos de repolho na Paraíba e utilizaram 20 plantas na parcela experimental.

Num experimento onde avaliaram a massa da matéria fresca de folhas, caules e raízes, o comprimento do caule, número de folhas, massa da matéria seca e teores de N de repolho híbrido em função de doses de nitrogênio, Moreira et al. (2011), utilizaram 44 plantas na parcela útil.

Nos planejamentos de experimentos os pesquisadores devem definir a parcela experimental visando aumentar a precisão através das informações obtidas, além de melhorar a relação custo/benefício do experimento, gerando tecnologias apropriadas com menores custos governamentais.

Nos testes utilizados para a determinação do tamanho da parcela consideram que o aumento da unidade experimental diminui o erro até determinado ponto e, a partir do qual, os ganhos com precisão diminuem.

Na literatura são encontradas várias metodologias que são utilizadas para a determinação do tamanho ótimo de parcelas experimentais de maneira a deixar o método empírico de lado. Os métodos do modelo da regressão linear de resposta com platô e da curvatura máxima do modelo do coeficiente de variação foram utilizados por Paranaíba, Ferreira e Morais (2009) em um trabalho de proposição de métodos de estimação do tamanho ótimo de parcelas experimentais.

Viana et al. (2002) utilizaram os métodos da máxima curvatura, da curvatura máxima modificado e da comparação das variâncias para estimar tamanho de parcela em experimentos de mandioca. Leonardo et al. (2014) determinaram o tamanho ótimo da parcela experimental do abacaxizeiro 'Vitória' através dos métodos do modelo linear de resposta a platô e da curvatura máxima. Estes métodos utilizam ensaios em branco ou de uniformidade, onde somente uma variedade é plantada, recebendo as mesmas práticas de cultivo.

Segundo Paranaíba, Ferreira e Morais (2009), por meio do método de inspeção visual da curvatura máxima, são calculados os coeficientes de variação $CV(X)$ para cada tamanho de parcela X (equação 1) em que $V(X)$ é a variância das parcelas com X unidades básicas (UB) e \bar{X} a média. O conjunto de pontos obtidos dos pares ordenados $[X, CV(X)]$ são unidos formando uma curva, onde o ponto de máxima curvatura é determinado por inspeção visual, considerando-se com tamanho ótimo da parcela o valor da abscissa do ponto.

$$CV(X) = CV \frac{\sqrt{V(X)}}{\bar{X}} * 100 (\%) \quad (\text{equação 1})$$

O método da curvatura máxima é simples e de fácil utilização, entretanto, o fato de determinar o tamanho ótimo da parcela experimental visualmente, constitui uma fonte de erro por não existir um critério para identificar o ponto de curvatura máxima sobre a curva (PARANAIBA; FERREIRA; MORAIS (2009).

O método de inspeção visual da curvatura máxima foi aperfeiçoado e o tamanho ótimo da parcela X_{OP} sendo determinado algebricamente. Cargnelutti et al. (2011), utilizaram este método para estimar tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbrido de milho, onde estabeleceram uma função tipo $CV_X = \frac{A}{X^B}$, para explicar a relação entre o coeficiente de variação ($CV_{(X)}$) e tamanho ótimo de parcela experimental (X). Dessa maneira o tamanho da parcela experimental fosse determinado algebricamente.

Vários trabalhos utilizaram o método da curvatura máxima modificado para determinar o tamanho de parcelas como Viana et al. (2002) estimaram o tamanho de parcela em experimentos de mandioca, Silva et al. (2012b) que utilizaram para determinar o tamanho de parcela para experimentos com rabanetes, Smiderle et al. (2014) para selecionar genótipos na cultura do feijoeiro e Cargnelutti et al. (2011) para estimar tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo.

Leonardo et al. (2014) utilizou o método da regressão linear de resposta a platô para determinar o tamanho da parcela experimental de abacaxizeiro 'Vitória'. Este método determina o tamanho ótimo de parcela onde o modelo linear se transforma em um platô, em relação à abscissa. Cargnelutti et al. (2011), também utilizaram este método para estimar tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho.

Pesquisas sobre tamanho de parcela experimental são fundamentais para aumentar a eficiência de experimentos e minimizar a relação custo/benefício dos mesmos. Mediante essa demanda, o objetivo deste trabalho foi estimar o tamanho ótimo da parcela para experimentos com repolho, utilizando simulação e os métodos do modelo da regressão linear de resposta a platô e da curvatura máxima modificado e verificar se estes são adequados para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais para as três características estudadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade de Referência em Agroecologia do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, localizada na Fazenda Experimental Mendes da Fonseca - FEMF, no município de Domingos Martins, no estado do Espírito Santo, com altitude de 950 m. Nesta região, a temperatura média máxima nos meses mais quentes varia de 26,7 e 27,8°C e a média mínima nos meses mais frios entre 8,5 e 9,4°C.

Esta área é cultivada sob manejo orgânico desde 1990, possuindo 2,5 ha, subdivididos em 15 talhões de solos, onde se realizam as experimentações. Esta pesquisa foi desenvolvida no Talhão 14, no ano de 2015, com a seguinte caracterização inicial do solo na profundidade 0-20 cm, segundo Embrapa (1997) e Yeomans & Bremner (1988): pH em água (6,5); matéria orgânica (2,8 dag kg⁻¹); fósforo (235 mg dm⁻³); potássio (75 mg dm⁻³); cálcio (7,9 cmolc dm⁻³); magnésio (1,3 cmolc dm⁻³); soma de bases (9,5 cmolc dm⁻³); capacidade de troca catiônica potencial (11,6 cmolc dm⁻³) e saturação por bases (82,0 %).

Nesta área foram cultivadas 300 plantas de repolho Híbrido F1 Shinsei, submetidas às mesmas práticas agrônômicas, num ensaio em branco formado por um gride i x j com i = 10 linhas e j = 10 colunas de unidades básicas (UB's) constituídas por três plantas, num total de 100 (FIGURA 1).

Figura 1 - Gride i x j com i = 10 linhas e j = 10 colunas de unidades básicas.

a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1j}
a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	...	a _{2j}
a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	...	a _{3j}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a _{i1}	a _{i2}	a _{i3}	...	A _{ij}

O semeio do repolho foi realizado em 16 de abril e o transplante em 26 de maio de 2015. Empregou-se o espaçamento de 0,6m x 0,4m, equivalente a uma população de 41.667 plantas por hectare.

O preparo de solo foi realizado com rotativa de microtrator, sendo feita a abertura das covas logo em seguida, que receberam uma adubação com composto orgânico na base de 500 g, equivalendo a um gasto total de 20,8 t ha⁻¹.

Na condução do experimento, foram realizadas três capinas manuais para controle de ervas espontâneas, com irrigações periódicas nos períodos de estiagem em turno de rega de 3 dias. Não foram necessários aplicar métodos alternativos de controle de pragas e patógenos.

A colheita de cabeças foi feita em 1º de setembro de 2015, totalizando um ciclo vegetativo de 136 dias. Logo após a colheita foram avaliadas as características massa, diâmetro e compacidade de cabeças. Para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais, foram utilizados os métodos da curvatura máxima modificado e do modelo da regressão linear de resposta a platô.

Para o agrupamento dos diferentes tamanhos de parcela e seus respectivos coeficientes de variação, foi utilizado o método de bootstrap onde foram realizadas 1000 simulações de amostras com 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 e 50 UB's (LEONARDO et al., 2014).

Os agrupamentos dos pares [X, CV(X)] foram utilizados para estimar os parâmetros dos modelos da curvatura máxima e da regressão linear com resposta a platô. Para o método linear de resposta a platô, o tamanho ótimo de parcela ocorre quando o modelo linear se transforma em um platô (Equação 2):

$$Y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{se } X_i \leq X_0 \\ P + \varepsilon_i & \text{se } X_i > X_0 \end{cases} \quad (\text{equação 2})$$

Em que Y_i é a variável resposta, β_0 é o coeficiente linear do modelo linear do segmento anterior ao platô, β_1 o coeficiente angular deste mesmo segmento, ε_i o erro associado a i -ésima observação e P é o platô e X_0 é o ponto de ligação dos dois segmentos. P e X_0 devem ser estimados.

Para o método da curvatura máxima modificado, o processo começa com o ajuste da equação 3 para cada uma das características avaliadas:

$$CV_X = \frac{A}{X^B} \quad (\text{equação 3})$$

O tamanho ótimo de parcela - X_{op} é calculado algebricamente através da equação 4, em que A e B são obtidos pelo método de mínimos quadrados.

$$X_{OP} = \left[\frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{B + 2} \right]^{\frac{1}{2+2B}} \quad (\text{equação 4})$$

Foram utilizados o software livre R para a realização das simulações do processo bootstrap (R CORE TEAM, 2015) e o programa SAEG para a obtenção das estatísticas dos métodos de obtenção do tamanho ótimo de parcelas (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das 1000 simulações amostrais utilizando o método bootstrap, com parcelas contendo 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 e 50 unidades básicas e seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados nas Figuras 2 e 3.

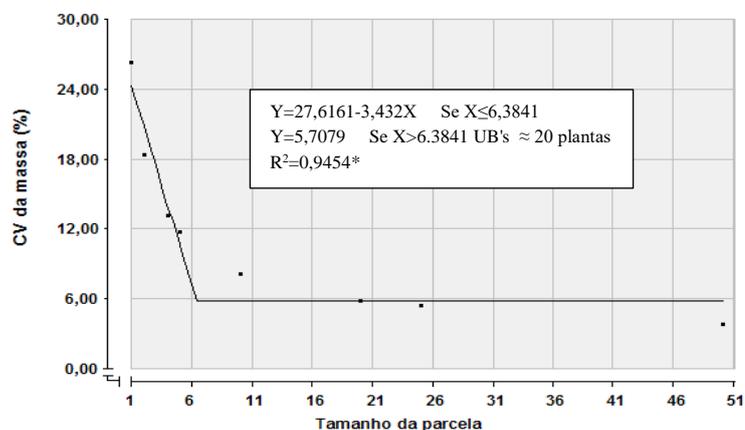
A Figura 2 mostra os resultados do tamanho ótimo de parcela utilizando o método da regressão linear de resposta a platô. O tamanho ótimo de parcela para as características massa, diâmetro e compacidade foi, respectivamente, de 6,38; 6,43 e 6,42 UB's, aproximadamente 20 plantas de repolho por parcela útil.

Nos resultados apresentados na Figura 3, observou-se que quando se utilizou o método da curvatura máxima modificado, o tamanho ótimo de parcela experimental para a massa foi de 5,12 UB's, aproximadamente 16 plantas. Para a característica diâmetro, o tamanho ótimo de parcela foi 2,14 UB's, aproximadamente 7 plantas. Por fim, o tamanho ótimo de parcela para a característica compacidade foi de 1,37 UB's, aproximadamente 5 plantas.

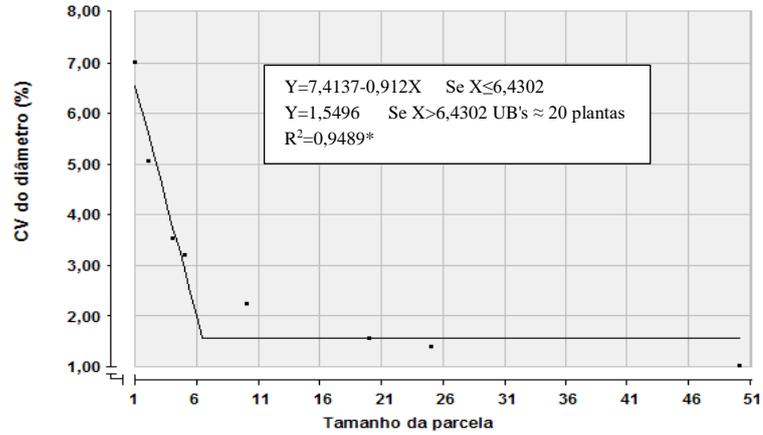
Para a característica massa, o número de plantas por parcela útil encontrado nos métodos regressão linear de resposta a platô (FIGURA 2A) e curvatura máxima modificado (FIGURA 3A), respectivamente, 20 e 16 plantas, estão de acordo com os utilizados por Oliveira, Costa e Costa (1999), que trabalharam com 20 planta por parcela útil e por Lédo, Sousa e Silva (2000) que conduziram experimentos com 16 plantas por parcela útil. No entanto, diferem de Moreira et al. (2011), que utilizaram 44 plantas na parcela útil.

Figura 2- Relação entre o coeficiente de variação e tamanho da parcela pelo método da regressão linear de resposta a platô para A = massa, B = diâmetro e C = compacidade do repolho Híbrido F1 Shinsei. X = tamanho ótimo de parcela. UB's = Unidades Básicas. * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%, pelo teste F; ns = não significativo

A



B



C

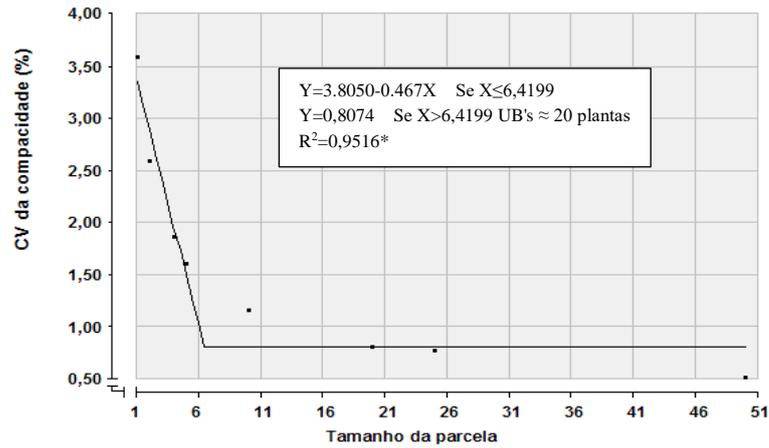
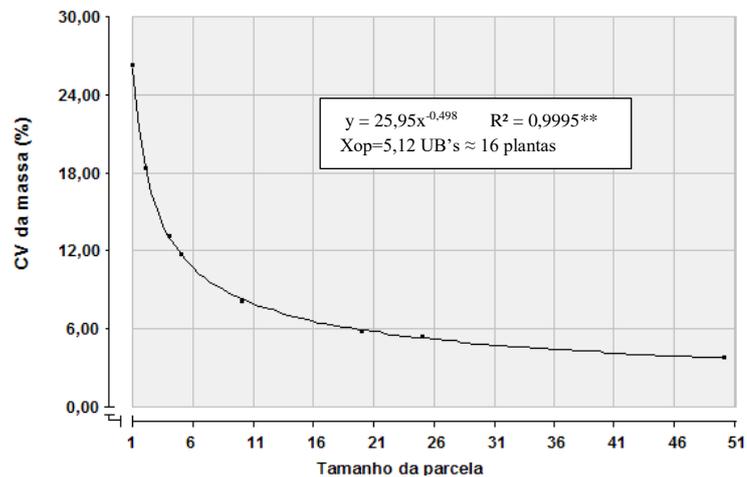
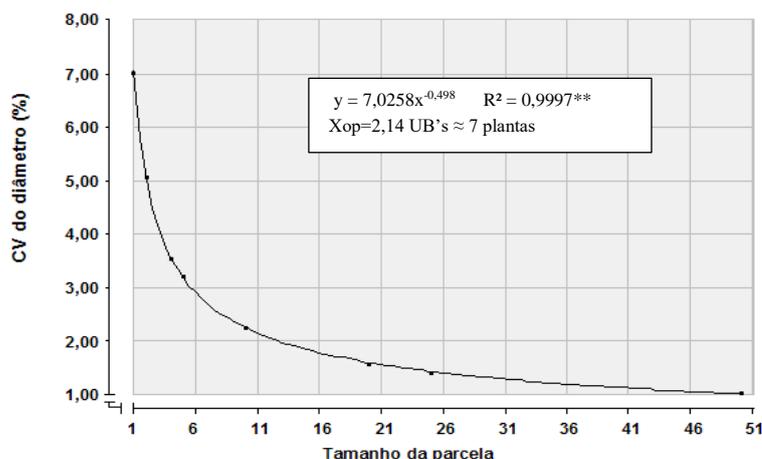


Figura 3 – Relação entre o coeficiente de variação e tamanho da parcela pelo método da curvatura máxima modificado para A = massa, B = diâmetro e C = compactade do repolho Híbrido F1 Shinsei. Xop = tamanho ótimo de parcela. UB's = Unidades Básicas. * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%, pelo teste F; ns = não significativo

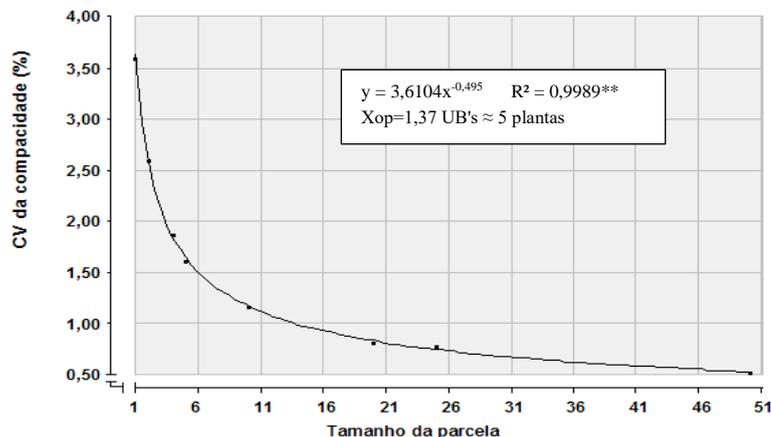
A



B



C



Para as características diâmetro e compactidade, os valores de tamanho ótimo de parcela encontrados pelo método regressão linear de resposta a platô (Figuras 2B e 2C), estão de acordo com o utilizado por Oliveira, Costa e Costa (1999) e próximo do encontrado por Léo, Sousa e Silva (2000). Contudo, os tamanhos ótimos de parcelas encontrados para estas características pelo método da curvatura máxima modificado (Figuras 3B e 3C), estão distantes dos utilizados pelos autores acima.

Os resultados obtidos pelo método da curvatura máxima modificado de tamanho de parcela para as características diâmetro e compactidade foram subestimados. Paranaíba, Ferreira e Moraes (2009) em um trabalho que determinaram o tamanho de parcelas em um experimento com arroz, observaram que este método subestimou o tamanho ótimo de parcelas para algumas características.

4 CONCLUSÕES

O tamanho ótimo de parcela experimental para as características massa, diâmetro e compactidade foi de 20 plantas de repolho por parcela útil, utilizando o método da regressão linear de resposta a platô e para o método da curvatura máxima modificado foi de 16, 7 e 5 plantas por parcela, respectivamente, para as características massa, diâmetro e compactidade.

O método da regressão linear de resposta a platô mostrou-se adequado para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais para as três características estudadas, enquanto, o método da curvatura máxima modificado mostrou-se adequado somente para determinar o tamanho ótimo de parcela para a característica massa.

5 AGRADECIMENTOS

À Unidade de Referência em Agroecologia do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER pela parceria na condução dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Métodos de estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo. *Ciência Rural*, v.41, n.9, p.1509-1516, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000900004>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p. il. (Embrapa-CNPQ, Documentos, 1).
- ESPÍRITO SANTO.SEAG-ES. Valor bruto da produção agropecuária do Espírito Santo. Vitória, 1p. 2016
- LÉDO, F.J.S.; SOUSA; J.A.; SILVA; M.R. Avaliação de cultivares e híbridos de repolho no Estado do Acre. *Horticultura Brasileira*, v. 18, n. 2, p.138-140. 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362000000200013>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- LEONARDO, F.A.P. et al. Tamanho ótimo da parcela experimental de abacaxizeiro ‘Vitória’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p.909-916, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-396/13>>. Acesso em: 21 mar. 2017.
- MOREIRA, M.A. et al. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 117-121. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v29n1/20.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- PARANAIBA, P.F.; FERREIRA, D.F.; MORAIS, A.R. de. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. *Revista Brasileira de Biometria*, v.27, n.2, p.255-268, 2009. Disponível em: <http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n2/Patricia.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- OLIVEIRA, A.P. de.; COSTA, J.S.; COSTA, C.C. Desempenho de seis híbridos de repolho na época chuvosa de Areia-PB. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 164-166, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05361999000200018>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Viena, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org>, 2015. > Acesso em: 30 mar. 2017.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A.L.P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa: Folha, 2008. 288 p.

SILVA, K.S. et al. Produtividade e desenvolvimento de cultivares de repolho em função de doses de boro. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 520-525. 2012a. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v30n3/27.pdf>. > Acesso em: 02 mar. 2017.

SILVA, L. F. O. et al. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 624-629, 2012b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500007>. > Acesso em: 03 mar. 2017.

SMIDERLE, E.C. et al. Tamanho de parcelas experimentais para a seleção de genótipos na cultura do feijoeiro. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p.51-58, 2014. [Dialnet-TamanhoDeParcelasExperimentaisParaASelecaoDeGenoti-5022034.pdf](http://www.dialnet.unirio.de/servlet/document?codigo=5022034). > Acesso em: 30 mar. 2017.

VIANA, A.E.S. et al. Estimativas de tamanho de parcelas em experimento com mandioca. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 58-63, 2002. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v20n1/14418.pdf>. > Acesso em: 03 mar. 2017.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, 1467-1476, 1988.

Recebido para publicação: 15 de abril de 2017

Aprovado: 19 de junho de 2017.