

Heterogeneidade do solo e de tamanho de amostra antes e após cultivos com abobrinha italiana em estufa plástica

Heterogeneity of soil and sample size, before and after italian pumpkin cropping in a greenhouse

Sandra Feijó¹ Lindolfo Storck^{1*} Alessandro Dal'Col Lúcio¹ Sidinei José Lopes¹

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o índice de heterogeneidade através das seguintes características químicas do solo: fósforo, potássio, percentagem de matéria orgânica, cálcio, capacidade de troca de cátions efetiva, magnésio, alumínio e pH em água 1:1, em estufa plástica, e determinar o tamanho de amostra para o solo em pousio e após cultivos. O índice de heterogeneidade foi estimado pelo método de Smith. Para todas as variáveis analisadas, o índice de heterogeneidade foi baixo e o respectivo tamanho ótimo de parcela foi igual a uma unidade básica, ou seja, um ponto amostral para as duas condições do solo. Considerando uma semi-amplitude do intervalo de confiança em percentagem da média igual a 20%, em nível 5% de probabilidade de erro, o tamanho de amostra é igual a 11 pontos amostrais, como representativo para todas as variáveis analisadas para o solo em pousio, e de nove pontos após cultivos.

Palavras-chave: índice de heterogeneidade, tamanho de parcela, tamanho de amostra, ambiente modificado.

ABSTRACT

This research was aimed at evaluating the heterogeneity index the most important chemical characteristics (phosphorus, effective cation exchange capacity, potassium, organic matter, magnesium, H+Al and pH) of a soil inside a plastic greenhouse and to determine the sample size, fallow and immediately after two cropping. The heterogeneity index was estimated through the Smith method. For all variables analysed the heterogeneity index was low and the optimum sampling size was equal to one basic unit, that is, one sampling point for both cropping systems. Considering a half amplitude of the confidence interval in percentage of the mean equal to 20% and a 5% error confidence level, the sampling size is equal to 11 sampling points as representative for all variables analyzed for a soil both under fallow or after cropping.

Key words: heterogeneity index, plot size, sample size, modified environment.

INTRODUÇÃO

As preocupações com a heterogeneidade do solo e suas conseqüências sobre a precisão experimental são antigas (SMITH, 1938; HAYES & IMMER, 1951; HATHEWAY, 1961; HALLAUER, 1964; MEIER & LESSMAN, 1971). Em geral, esta heterogeneidade é devida às condições pré-existentes ou às características relacionadas com a formação do solo e com suas interações com a flora, a fauna e o manejo para os cultivos. O uso do solo em cultivos agrícolas introduz novas fontes de heterogeneidade, tais como: a distribuição irregular de restos de culturas, dos insetos, das doenças, das ervas daninhas, dos adubos aplicados, as espécies ou genótipos cultivados e a irrigação (GOMEZ & GOMEZ, 1984; STEEL et al., 1997; RAMALHO et al., 2000; RESENDE, 2002). Assim, a área experimental, mesmo aparentando ser homogênea, apresenta variações tanto no sentido horizontal como vertical, que dificilmente podem ser controladas apenas com uso de um delineamento apropriado (RAMALHO et al., 2000).

O índice de heterogeneidade do solo, representado pela produtividade dos cultivos agrícolas, é a principal característica que determina o tamanho ótimo de parcela em ensaios (CHACÍN LUGO, 1977; ROSSETTI & PIMENTEL GOMES, 1983). O cálculo do índice de heterogeneidade do solo (b) foi proposto por SMITH (1938), estabelecendo uma relação entre as variâncias por unidade básica [VU(x)] e os respectivos tamanhos de parcelas simulados (X), ou seja $VU(x) = V_1 / X^b$, onde, nesta relação, V_1 é o estimador da variância entre as parcelas de uma unidade básica (UB). Valores de b próximos a zero indicam que o solo é mais homogêneo, possibilitando que as parcelas

¹Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: lindolfo@smail.ufsm.br. *Autor para correspondência.

experimentais sejam menores com um mesmo grau de precisão. Enquanto isso, em valores de b próximos ou superiores a um, a heterogeneidade do solo é maior e, nestes casos, as parcelas devem ser maiores para a obtenção do mesmo grau de precisão experimental (LIN et al., 1996).

Geralmente, a precisão que se deseja pode não ser alcançada em função do tamanho e da forma das parcelas inadequadas, ou também pelo número de repetições insuficiente (SOUZA, 2001), pois a heterogeneidade do solo é desconhecida na maioria das situações. O mesmo autor acrescenta que além de conhecer o melhor tamanho de parcela, deve-se conhecer o melhor tamanho de amostra. Assim, o tamanho de amostra é um fator importante para se determinar as características químicas de um solo e, quanto mais heterogêneo o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas, para que se obtenha a precisão desejada na avaliação de suas características (SILVEIRA et al., 2000).

Para determinar o tamanho de parcela, deve ser tomado como base a relação entre o número de repetições e o tamanho de parcela, ou seja, as faixas do índice de heterogeneidade, de acordo com recomendações de LIN & BINNS (1986). No caso de $b=0,2$, o aumento do número de repetições é mais efetivo para melhoria da precisão experimental do que o aumento do tamanho de parcela. Quando $b \geq 0,7$, o aumento do tamanho da parcela é mais efetivo do que o aumento do número de repetições. Por outro lado, se $0,2 < b < 0,7$, o aumento de repetições de parcelas e do tamanho podem ser uma combinação aconselhável nesta situação e, nos caso em que b está entre 0 e 0,2, fica difícil determinar o tamanho de parcela.

O trabalho teve por objetivo avaliar o índice de heterogeneidade para as principais características químicas do solo e determinar o tamanho de amostra, em ambiente modificado com solo em pousio e após cultivos com abobrinha italiana.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em estufa plástica – túnel alto, com 20m de comprimento e 5m de largura

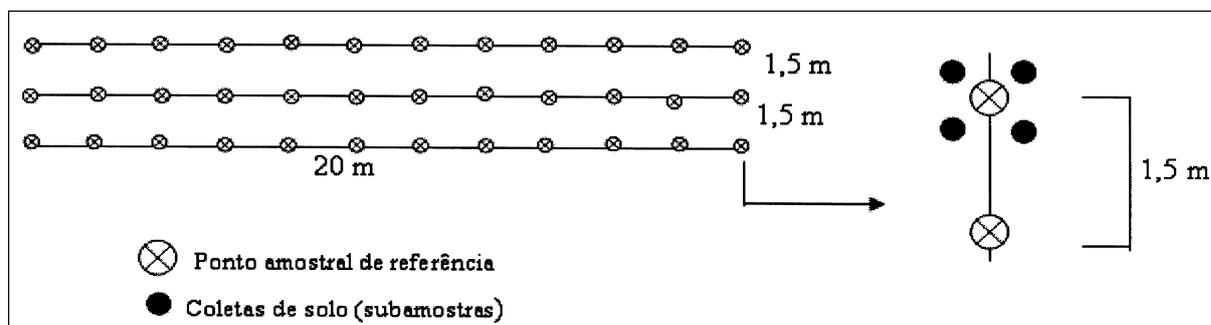


Figura 1 - Pontos (⊗) e sub-pontos (●) de amostragem do solo dentro da estufa plástica.

em área pertencente ao Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. O solo da área é classificado como Brunizem Hidromórfico (EMBRAPA, 1999).

Para a amostragem e a análise do solo, a estufa foi dividida em três fileiras (Norte-Sul) de 12 parcelas (Figura 1). Cada um dos 36 pontos amostrais (parcelas) foi amostrado por meio de quatro subamostras, zero a vinte centímetros de profundidade, que foram misturadas em um saco plástico. A coleta realizada no dia 12/08/2003 representa o solo em pousio por seis anos e a coleta do dia 27/08/2005 representa o solo após dois cultivos sucessivos de abobrinha italiana cultivar “Caserta”, nas mesmas fileiras onde foi amostrado o solo. As adubações recomendadas para a cultura e as irrigações por gotejamento foram realizadas nas linhas de cultivo. No Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, foram avaliados os teores de fósforo (P) (mgL^{-1}) e de potássio (K) (mgL^{-1}), a percentagem de matéria orgânica (MO), de cálcio (Ca) (cmolc L^{-1}), a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) (cmolc L^{-1}), o magnésio (Mg) (cmolc L^{-1}), H+Al (cmolc L^{-1}) e o pH em água 1:1 (cmolc L^{-1}).

Com os resultados das análises de solo (três filas de 12 parcelas), foram planejados seis tamanhos de parcelas. Cada tamanho tem X_1 unidades básicas (UB) de largura (filas) e X_2 UB de comprimento (colunas), de modo que, $X_1 * X_2$ é igual a X (tamanho da parcela em número de UB). Planejam-se parcelas com tamanhos $X_1 * X_2$ igual a $1*1, 1*2, 1*3, 1*4, 1*6$ e $1*12$. O número de repetições de cada tamanho de parcela é limitado pelo número total (36) de parcelas na estufa.

Para cada tamanho de parcela (X), foram calculados N = número de parcelas com X UB de tamanho; $M(x)$ = média das parcelas com X UB de tamanho; M_1 = média das parcelas com uma UB; $V(x)$ = variância entre as parcelas de X UB; $VU(x) = V(x)/X^2$ = variância por UB entre as parcelas de X UB de tamanho; e $CV(x)$ = coeficiente de variação entre as parcelas de X UB de tamanho.

A estimativa do índice de heterogeneidade do solo (b) foi obtida a partir da relação empírica

$VU(x)=V_1/X^b$ (SMITH, 1938), para cada uma das variáveis nas duas épocas (pousio e cultivado). O valor de b foi obtido como um coeficiente de regressão linear, pela transformação logarítmica da função $VU(x)=V_1/X^b$, cuja estimativa de b foi ponderada pelos graus de liberdade associados aos tamanhos de parcelas (STEEL et al., 1997). Da mesma forma, foram estimados os parâmetros A e B da função $CV(x)=A/X^B$, em que A é a estimativa do CV para X igual a uma UB e B é equivalente a $b/2$.

O tamanho ótimo de parcela ($X_{\text{ótimo}}$), em número de UB, foi obtido utilizando o método da máxima curvatura modificado (MEIER & LESSMAN, 1971), usando a função $CV(x)=A/X^B$, permitindo que o ponto que corresponde ao tamanho ótimo de parcela fosse determinado algebricamente, como ponto de máxima curvatura da função entre o coeficiente de variação e o tamanho de parcela:

$$X_{\text{ótimo}} = \left(\frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{(B + 2)} \right)^{\frac{1}{2B+2}}$$

A determinação do tamanho de amostra (número de parcelas com $X_{\text{ótimo}}$ UB a serem amostradas) foi calculada em função do coeficiente de variação:

$n_0 = t_{\alpha/2}^2 CV^2 / D^2$, em que: t é o valor crítico da tabela t de Student em nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro; CV é a estimativa de A da função $CV(x) = A / X^B$ e D é a semi-amplitude do intervalo de confiança em percentagem da média adotada como sendo 5, 10, 15, 20 e 40%.

Ao dimensionar o tamanho de amostra (n), considerou-se que a população é infinita, obtendo o tamanho n_0 e assim, numa segunda etapa, relacionou-se n_0 com o tamanho da população ($N=36$ parcelas), fazendo-se a correção para população finita pela expressão $n = n_0 / (1 + n_0/N)$.

As análises foram realizadas usando o software NTIA/EMBRAPA, o aplicativo Office Excel e um programa específico em linguagem Fortran para

estimar as variâncias entre as parcelas de diferentes tamanhos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do índice de heterogeneidade (b) das características químicas do solo em pousio variaram de 0,01 a 0,18 (Tabela 1), indicando alta correlação entre as parcelas vizinhas, para todas as variáveis analisadas, ou seja, a área avaliada tem solo homogêneo. Comportamento semelhante observa-se após os cultivos com abobrinha italiana, em algumas características químicas do solo: P, K, MO, Ca e CTCe, nas mesmas fileiras. Como conseqüência, amostrar parcelas maiores não melhora a representatividade das características químicas do solo nas dimensões de uma estufa. Deve-se, portanto, coletar o solo em pontos (parcelas) independentes (não correlacionados) isto é, os pontos a serem avaliados devem ser identificados, na quantidade necessária, por sorteio. SILVA et al. (2003) encontraram dependência espacial forte a moderada para a produtividade de grãos de milho e para as mesmas características químicas do solo avaliadas neste estudo. O menor valor de alcance foi de 4,5m para a produtividade de grãos de milho, e o maior foi de 53m para fósforo. O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, ou seja, determinações realizadas em distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si. Na estufa (5x20m) as dimensões são muito próximas ao alcance, o que não permite o uso de repetições independentes.

Podem ser observados, na tabela 1, aumentos nos valores de b para Mg, H+Al e pH em água. Este comportamento explica-se em função da adição de fertilizantes, da irrigação e dos cultivos que influenciam diretamente na acidez do solo, aumentando a variabilidade entre as parcelas e, conseqüentemente,

Tabela 1 - Média (M_1) entre as parcelas de uma unidade básica, estimativas dos parâmetros das funções $VU(x)=V_1/X^b$ e $CV(x)=A/X^B$ e tamanho ótimo de parcela ($X_{\text{ótimo}}$) em número de UB para diferentes variáveis do solo sob estufa plástica com solo em seis anos de pousio (P) e solo após dois cultivos sucessivos com abobrinha italiana (C). Santa Maria, RS, 2006.

Variável	M_1		V_1		b		A		B		$X_{\text{ótimo}}$	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
Fósforo (mg L ⁻¹)	36,35	34,83	386,40	332,76	0,18	0,10	52,59	51,12	0,08	0,05	1,00	1,00
Potássio (mg L ⁻¹)	76,27	94,78	1364,01	585,41	0,18	0,07	49,90	24,60	0,09	0,03	1,00	1,00
MO* (%)	2,88	2,30	0,07	54,74	0,05	0,10	9,37	5,87	0,03	0,05	1,00	1,00
Cálcio (cmol _c L ⁻¹)	6,21	10,93	4,35	1,78	0,17	0,18	34,36	12,47	0,09	0,09	1,00	1,00
CTCe** (cmol _c L ⁻¹)	9,74	15,07	3,64	2,80	0,12	0,16	19,93	11,27	0,06	0,08	1,00	1,00
Magnésio (cmol _c L ⁻¹)	2,61	3,89	0,68	3,93	0,01	0,56	33,04	12,95	0,01	0,28	1,00	2,00
H+Al (cmol _c L ⁻¹)	4,15	2,12	3,19	1,80	0,14	0,65	41,38	33,36	0,07	0,33	1,00	5,00
pH . H ₂ O (1:1)	5,21	6,26	0,36	5,03	0,15	0,98	11,67	7,22	0,07	0,49	1,00	2,00
Média	-	-	-	-	0,12	0,35	31,53	19,85	0,06	0,17	1,00	1,75

*Percentagem de matéria orgânica; **Capacidade de troca de cátions efetiva.

alterando o valor de b para essas características. Como o elemento Mg é encontrado em pequenas quantidades, a adição deste elemento, via adubação, elevou o valor da média (M_1) de 2,61 para 3,89 e também o valor de b de 0,01 para 0,56. É importante ressaltar que, embora maiores variações no valor de b foram encontradas após o cultivo, o contrário foi observado com os valores de A (origem da função $CV(x)=A/X^b$). Isto indica que as características H+Al, Mg, pH em água e outras têm a tendência de reduzir a variabilidade entre as UBs da área e de aumentar o índice de heterogeneidade, importante para estimar o tamanho de parcela. Ainda, a heterogeneidade da área em função destes elementos pode ser também explicada em parte pela absorção de elementos pelas plantas com diferentes quantidades de produção de frutos de abobrinha, bem como, devido às diferenças na distribuição da água da irrigação, por gotejamento.

Em virtude dos baixos valores de b , os valores do tamanho ótimo de parcela são próximos a uma unidade básica, não havendo um incremento na precisão experimental com o aumento do tamanho de parcela em número de UB. Neste caso, mesmo havendo diferenças nas estimativas de tamanho de parcela para três características (Mg, H+Al, pH) do solo cultivado, adota-se uma UB (um ponto de coleta) como tamanho ótimo de parcela.

Para as amostras coletadas após dois cultivos sucessivos, os elementos que necessitam de mudança no tamanho ótimo de parcela foram o Mg, o H+Al e o pH em água, passando, respectivamente, de uma para 2, 5 e 2 UB. Embora mudanças no tamanho ótimo de parcela foram encontradas, não devem ser consideradas relevantes, considerando a hipótese de que futuras adubações e correções da acidez do solo possam diminuir a variabilidade, estabilizando ou uniformizando o pH do solo. Valores diferentes do índice de heterogeneidade, obtidos de rendimento de plantas cultivadas, em um mesmo local, em diferentes anos, podem ser observados nos resultados dos trabalhos de HALLAUER (1964), SWALLOW & WEHNER (1986) e LIN et al. (1996).

A dificuldade na análise de dados provenientes de experimentos que utilizam plantas individuais como parcelas já foi relatada por OLIVEIRA & ESTEFANEL (1995), pois há uma tendência em aumentar o coeficiente de variação com a redução do tamanho de parcela. Extrapolando esta discussão, seria possível considerar-se o risco em assumir uma UB como tamanho ótimo de parcela; porém, neste caso, tem-se um índice de heterogeneidade do solo baixo e, ainda, a parcela é uma composição de quatro subamostras, sendo que, nestes casos, o incremento de precisão pode ser gerado em função de um adequado tamanho de amostra. Neste mesmo contexto, não há como haver perda de parcela, não causando dificuldades nas análises.

Observando-se a expressão usada para estimar o número de repetições de um experimento, pelo método de HATHEWAY (1961), $r = 2(t_1 + t_2)^2 A^2 / d^2 X_{\text{ótimo}}^b$, verifica-se que, neste estudo, o valor de r pouco depende do denominador $X_{\text{ótimo}}^b$, porque esta fração tende à unidade devido a $X_{\text{ótimo}}$ ser próximo da unidade na maioria dos casos ou porque o valor do índice de heterogeneidade (b) é baixo. Assim, a expressão é dependente de A (coeficiente de variação), da precisão desejada (d) e do valor crítico da tabela da distribuição de t , o que é equivalente à expressão usada para estimar o tamanho de amostra descrito na metodologia.

Como o aumento do tamanho de parcela, em ambos os casos (solo em pousio e cultivado), não foi eficiente para melhoria da precisão experimental, deve-se dar maior importância à estimativa do tamanho de amostra, considerando uma população finita de 36 pontos amostrais, e, nos casos em que $b \leq 0,2$, $X_{\text{ótimo}} \approx 1$, a questão do número de repetições pode ser estimada pela expressão usada para estimar o tamanho de amostra (n).

Os elementos P, K, Ca, Mg e H+Al obtiveram os maiores tamanhos de amostras a serem realizadas para sua representatividade (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por SILVEIRA et al. (2000), por isso, não é preciso usar um tamanho de amostra para cada variável, pois, para uma dada precisão desejada, pode-se usar o valor máximo que, por exemplo seria igual a 11 parcelas (pontos) para solo em pousio e 9 para solo cultivado para uma precisão (D) igual a 20%. No caso em que uma precisão menor ($D=40\%$) seja considerada suficiente, o tamanho de amostra (n) pode ser igual a sete unidades nas duas situações (solo em pousio e cultivado).

Para algumas características (Mg, H+Al e pH), o cultivo de abobrinha italiana repetidamente nas mesmas linhas causa aumento do índice de heterogeneidade e, por conseqüência, do tamanho da parcela a ser amostrada. Este fato poderia limitar a viabilidade do uso dos ensaios em branco para o planejamento de experimentos para os anos seguintes. Por outro lado, o tamanho de amostra foi consistentemente menor após os cultivos devido à redução do coeficiente de variação. O coeficiente de variação foi reduzido devido ao aumento da média (M_1) e/ou devido à redução da variância entre as parcelas de uma UB (V_1). Analisando o tamanho da parcela e o tamanho da amostra simultaneamente, pode-se inferir que os resultados de planejamento de experimentos, tem validade por alguns anos.

CONCLUSÕES

Os índices de heterogeneidade do solo são baixos para as características químicas do solo com o cultivo de abobrinha italiana em ambiente modificado,

Tabela 2 - Tamanho de amostra, em número de pontos amostrais, numa estufa plástica (100 m²), para diferentes características do solo com solo em seis anos de pousio (P) e com solo após dois cultivos sucessivos de abobrinha italiana (C), em diferentes semi-amplitudes do intervalo de confiança em percentagem da média. Santa Maria – RS, 2006.

Característica	Semi-amplitude do intervalo de confiança (D)									
	5%		10%		15%		20%		40%	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
Fósforo	22	20	16	14	13	11	11	9	7	6
Potássio	22	13	16	9	13	7	11	6	7	4
Matéria orgânica	9	6	7	2	4	1	2	1	1	1
Cálcio	18	9	13	6	10	5	8	3	6	1
CTCe*	14	12	9	6	8	4	7	4	4	2
Magnésio	18	10	12	7	10	6	8	3	6	1
H+Alumínio	20	16	14	11	12	8	10	8	7	5
pH em água	11	7	7	3	5	2	3	1	1	1

*Capacidade de troca de cátions efetiva.

umentando a heterogeneidade do solo quanto aos teores de magnésio, alumínio e pH. Considerando uma semi-amplitude do intervalo de confiança em percentagem da média igual a 20%, em nível de 5% de probabilidade de erro, o tamanho de amostra é igual a 11 pontos amostrais, como representativo para todas as variáveis analisadas para o solo em pousio, e a nove pontos após cultivos.

REFERÊNCIAS

- CHACÍN LUGO, F. Tamaño de parcela experimental y su forma. **Revista Facultad Agronomía**, v.9, p.55-74, 1977.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.
- GOMEZ, K.A.; GOMEZ, A.A. **A statistical procedure for agricultural research**. 2.ed. New York: John Wiley, 1984. 680p.
- HALLAUER, A.R. Estimation of soil variability and convenient plot size from corn trials. **Agronomy Journal**, v.56, p.493-499, 1964.
- HATHEWAY, W.H. Convenient plot size. **Agronomy Journal**, v.53, p.279-280, 1961.
- HAYES, H.K.; IMMER, F.K. **Metodos fitotécnicos: procedimientos científicos para mejorar las plantas cultivadas**. 3.ed. Buenos Aires: Acme Agency, 1951. 560p.
- LIN, C.S. et al. Persistence of a field heterogeneity index. **Canadian Journal of Plant Science**, v.76, p.245-250, 1996.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. Relative efficiency of two randomized block designs having different plot sizes and numbers of replications and plots per block. **Agronomy Journal**, v.78, p.531-534, 1986.
- MEIER, V.D.; LESSMAN, K.J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**, v.11, p.648-650, 1971.
- OLIVEIRA, P.H.; ESTEFANEL, V. Tamanho e forma ótimos da parcela para avaliação do rendimento em experimentos com batata. **Ciência Rural**, v.25, p.205-208, 1995.
- RAMALHO, M.A.P. et al. **Experimentação em genética**. Lavras: UFLA, 2000. 326p.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- ROSSETTI, A.G.; PIMENTEL GOMES, F. Determinação do tamanho ótimo de parcelas em ensaios agrícolas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.477-487, 1983.
- SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1013-1020, 2003.
- SILVEIRA, P.M. et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2057-2064, 2000.
- SMITH, H.F. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. **Journal of Agricultural Science**, v.28, p.1-23, 1938.
- SOUZA, M.F. **Estimativa do tamanho da amostra para culturas olerícolas em ambientes protegidos**. 2001. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.
- STEEL, R.G.D. et al. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3.ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.
- SWALLOW, W.H.; WEHNER, T.C. Optimum plot size determination and its application to cucumber yield trials. **Euphytica**, v.35, p.421-432, 1986.