

Planejamento amostral da porosidade do solo em relevo ondulado sob cafeeiro Conilon ⁽¹⁾.

Jamilli Almeida Salume⁽²⁾; Carlos Eduardo de Oliveira Roberto⁽³⁾, Sara Brinati Valentim⁽³⁾, Diego Lang Burak⁽⁴⁾, Hugo Alberto Ruiz⁽⁵⁾, Renato Ribeiro Passos⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de PNPd/CAPES, FAPES e CNPQ.

⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, ES; jamilli.almeida@hotmail.com ⁽³⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto II; Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Espírito Santo; Alegre, ES; dlburak@hotmail.com ⁽⁵⁾ Professor Associado I; Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Espírito Santo; Alegre, ES; ⁽⁶⁾ Professor Titular/Professor Visitante Nacional Sênior; Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Espírito Santo; Alegre, ES.

RESUMO: Para melhor avaliação de atributos do solo e para que se tenha representatividade na amostragem é essencial que sejam feitos estudos de planejamento amostral. O objetivo desse trabalho foi estabelecer o número adequado de amostras e distância entre elas para amostragem representativa de uma área experimental representando o terço superior e médio da paisagem sob cultivo de café conilon em regiões de relevo ondulado no Sul do Estado do Espírito Santo. Para tanto, utilizou-se a Estatística Clássica e da Geoestatística. Foram analisados os seguintes atributos físicos: macroporosidade, microporosidade e porosidade total. O maior coeficiente de variação foi registrado para macroporosidade e o menor valor para porosidade total. A concentração de macroporos foi maior na camada superficial do solo, enquanto na camada mais profunda obteve-se maior proporção de microporos. A microporosidade (profundidade 0-0,1 m) e a porosidade total (profundidade 0,1-0,2 m) apresentam distribuição aleatória, ou seja, são espacialmente independentes. Sugere-se, a partir do coeficiente de variação e valores de alcance dos semivariogramas que, para representatividade e avaliação conjunta da porosidade do solo, devem ser coletadas 53 amostras a uma distância maior que 40 m entre elas.

Termos de indexação: macroporosidade, microporosidade, geoestatística.

INTRODUÇÃO

A análise dos atributos físicos do solo é um importante indicador da sustentabilidade nos diferentes tipos de uso das terras. A porosidade do solo e a relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para avaliação da influência da textura e da estrutura do solo na disponibilidade de água. Um dos desafios consiste em melhorar os atributos físicos do solo, como por exemplo, a distribuição desses macro e microporos do solo, os quais são, respectivamente,

responsáveis pela aeração/infiltração de água no solo e retenção/disponibilidade de água.

Para representatividade na amostragem e melhor avaliação desses atributos é essencial que sejam feitos estudos de planejamento amostral para estimativa do número de amostras e de seu espaçamento. Segundo McBratney & Webster (1983a), a estimativa do número adequado de amostras dos diversos atributos do solo, utilizando a geoestatística como ferramenta de decisão, visa minimizar os custos envolvidos e aperfeiçoar o processo de amostragem sem, no entanto, comprometer sua confiabilidade.

A amostragem de solo é um dos procedimentos mais importantes, em qualquer programa de pesquisa e na área e extensão, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas de suas variáveis, se as amostras coletadas não são representativas da área em estudo (Chung et al., 1995). Normalmente, pontos de amostragem localizados a pequenas distâncias são mais semelhantes entre si que pontos mais distantes (McBratney & Webster, 1983b).

Estudos mostram que, em latossolos, em áreas de formas côncavas e convexas, independentes do histórico de manejo, há mais variabilidade de atributos químicos e físicos do que em áreas de formas lineares (Souza et al., 2003; Souza et al., 2004). Isso implica maior número de subamostras naquelas áreas.

O objetivo desse trabalho foi estabelecer o número adequado de amostras e distância entre elas para amostragem representativa da porosidade do solo de uma área experimental representando o terço superior e médio da paisagem sob cultivo de café conilon em regiões de relevo ondulado no Sul do estado do Espírito Santo. Para tanto, utilizou-se a Estatística Clássica e da Geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas na Fazenda

Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). O solo da área experimental encontra-se sob LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico textura argilosa. Foram coletados 109 pontos georreferenciados dos atributos físicos.

Para avaliação da densidade do solo (D_s), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas em anel de aço de bordas cortantes (Embrapa, 1997), introduzidos no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland à profundidade desejada de 0-10 e 10-20 cm. A porosidade total (P_t), foi obtido indiretamente através da relação existente entre a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p) de acordo com Embrapa (1997), conforme a equação: $P_t = (D_p - D_s)/D_p$. A macro e a microporosidade foram determinada em uma panela de tensão, onde amostras saturadas foram submetidas a uma sucção de 6 Kpa para retirada da água correspondente à macroporosidade. A água contida nos microporos foi avaliada pela diferença entre a massa do anel retirado da panela e do anel após secagem a 105 °C.

A resistência do solo à penetração foi avaliada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm com a utilização de penetrômetro de impacto (Stolf, 1991) e a umidade do solo foi monitorada durante a coleta.

A definição do número de pontos amostrais (n) que representa os atributos do solo foi realizada com base na equação 1 (Cline, 1944).

$$n = \left(\frac{(t_{\alpha/2} \cdot CV)}{er} \right)^2 \quad (1)$$

em que, t_{α} : valor da tabela de distribuição de Student para o nível de probabilidade $\alpha/2$ (bilateral); CV: coeficiente de variação (%) e er : erro relativo admitido em torno da média (%).

A análise da dependência espacial, a geoestatística, bem como o método de interpolação foi realizada utilizando o software GS+ (Robertson, 2000), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais.

Com os valores dos atributos dos pontos georreferenciados, foram feitas análises estatísticas descritivas. Os dados serão analisados dentro do domínio da estatística espacial, com a confecção de semivariogramas e a avaliação da estrutura espacial. Com os resultados dos semivariogramas, as variáveis serão interpoladas pelo método da krigagem ordinária gerando mapas geoestatísticos dos atributos físicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** é apresentada à análise descritiva da macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) e porosidade total (PT) do solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm do solo. A avaliação da variabilidade dos atributos, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada nos limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), para classificação de atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa ($CV < 12\%$); média ($12\% < CV < 60\%$) e alta ($CV > 60\%$).

Analisando os resultados de coeficientes de variação (CV) é possível observar que a microporosidade na profundidade de 0-10 cm apresentou média variabilidade e em profundidade de 10-20 cm apresenta baixa variabilidade. Em relação à macroporosidade, observou-se o contrário, baixa variabilidade na camada mais superficial do solo, e média variabilidade na camada de 10-20 cm. Já a porosidade total apresenta valores próximos de CV entre as duas profundidades apresentadas, que significam baixa variabilidade.

Os atributos físicos avaliados apresentaram um coeficiente de assimetria menor que 0,5, que segundo Webster & Oliver (2007), não existe necessidade de transformação logarítmica no banco de dados caso a assimetria seja menor que 0,5 quando se utiliza a geoestatística.

As maiores quantidades de microporos foram encontradas na camada de 10-20 cm e as de macroporos na camada 0-10 cm enquanto a distribuição da porosidade total foi uniforme nas duas camadas.

Na **tabela 2**, as profundidades de 0-10 cm para microporosidade, e 10-20 cm para porosidade total observou-se o efeito pepita puro (EPP), indicando que a variabilidade aleatória se sobressai à variabilidade espacialmente estruturada. A análise geoestatística mostrou que as variáveis não apresentaram dependência espacial, que é denominado efeito pepita puro. Trata-se de uma indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição aleatória ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (Silva et al., 1989).

Os semivariogramas dos atributos físicos apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,76, ou seja, 76% da variabilidade existente são explicadas pelos modelos ajustados.

O alcance é de fundamental importância para a interpretação da dependência espacial. Ele indica a distância até onde os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si (Vieira et al.,



1983; Souza et al., 1997; Vieira, 1997). O alcance de um atributo garante que todos os vizinhos, dentro de um mesmo raio, são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles pela krigagem. O menor valor de alcance foi de 12,5 para a macroporosidade, e o maior 39,6, para a microporosidade.

Na **figura 1** encontram-se os semivariogramas dos atributos físicos avaliados para as duas profundidades. Segundo McBratney & Webster (1983) e Souza et al. (1997), uma das principais utilizações dos semivariogramas no planejamento amostral é na determinação da distância ideal entre amostras para a estimação das características químicas e físicas do solo.

Os atributos físicos avaliados apresentaram distribuição normal a 1% de probabilidade pelo teste de Shapiro Wilk. Se a avaliação dos atributos for feita separadamente, sugere-se o número de 45 amostras para microporosidade, 53 para macroporosidade e 4 para porosidade total. Se o objetivo for uma avaliação conjunta dos atributos, sugere-se a coleta do maior número de amostras, que nesse estudo foi 53. Para garantir a dependência espacial e o uso da geoestatística, os pontos devem ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance. Para avaliação dentro do contexto da estatística clássica, os pontos devem ser coletados a uma distância maior do que o alcance. A distância entre as amostras deve ser maior que 39,6 m para microporos, 33,6 m para os macroporos e 12,9 m para porosidade total, utiliza-se a maior distância (aproximadamente 40 m) para avaliação dos atributos em conjunto (macro, micro e porosidade total).

CONCLUSÕES

1. O maior coeficiente de variação foi registrado para macroporosidade e o menor valor para porosidade total.
2. A concentração de macroporos foi maior na camada superficial do solo, enquanto na camada mais profunda obteve-se maior quantidade de microporos.
3. A microporosidade na profundidade de 0,0-0,01 m e a porosidade total na profundidade de 0,1-0,2 m apresentam distribuição aleatória, ou seja, são espacialmente independentes.
4. Devem ser coletadas 53 amostras a uma distância maior que 40 m entre as amostras para avaliação conjunta dos atributos físicos estudados.

AGRADECIMENTOS



REFERÊNCIAS

- CHUNG, C. K.; CHONG, S. K.; VARSA, E. C. Sampling strategies for fertility on a stony silt loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 26. N. 5/6, p. 741-763, 1995.
- CLINE, M. G. Principles of soil sampling. *Soil Sci.*, Baltimore, 58:275-288, 1944.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? *Soil Science*, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177-183, 1983a.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, 37:83-177, 1983b.
- ROBERTSON, G. P. GS+. Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:1-5, 1989.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-10, 1997.
- SOUZA, C.K et al. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.
- SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.8, n.1, p.51-58, 2004.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um

latossolo roxo de Campinas (SP). *Bragantia*, Campinas, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York : Academic, 1980

WEBSTER, R., OLIVER M.A. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Second Edition. Wiley, Chichester, 325p. 2007.

Figura 1 – Semivariogramas de Macroporosidade (MaP), Microporosidade (MiP) e Porosidade Total (PT).

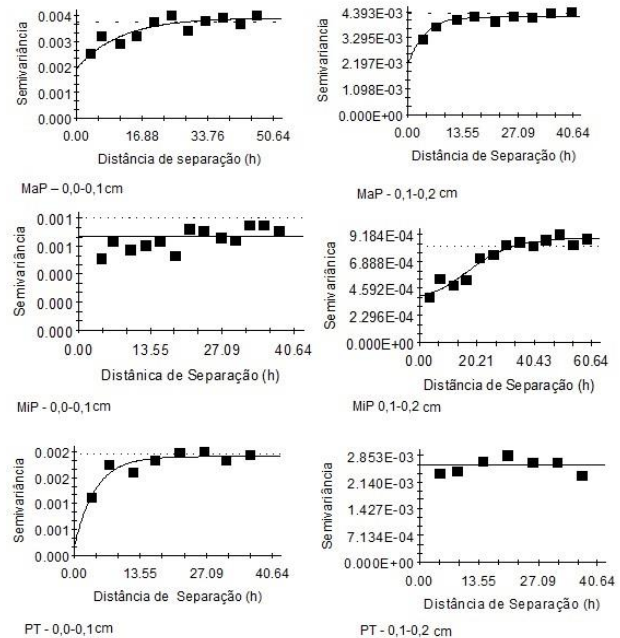


Tabela 1 - Sumário das estatísticas descritivas dos atributos ⁽¹⁾ do solo na profundidade 0,0-0,1 e 0,1-0,2m.

Atributo	Prof	N	Média	Mediana	Mín	Máx	CV %	DP	Cs	Ck	Nº amostras
MiP	0-10	108	0.196	0.199	0.012	0.397	34	0.07	0.27	0.74	45
	10-20	108	0.327	0.330	0.220	0.389	9	0.03	0.62	0.80	
MaP	0-10	108	0.317	0.318	0.197	0.400	10	0.03	-0.57	1.62	53
	10-20	108	0.179	0.169	0.036	0.369	37	0.07	0.45	-0.04	
PT	0-10	108	0.513	0.516	0.371	0.649	9	0.05	-0.06	0.57	4
	10-20	108	0.506	0.500	0.375	0.618	10	0.05	0.07	-0.38	

DP = desvio padrão Min = valor mínimo; Max = valor máximo; CV% =coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose.

Tabela 2. Modelos teóricos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais ajustados aos valores dos atributos físicos do solo nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m e a estatística da validação cruzada .

Var	Prof (m)	Modelo ⁽¹⁾	Parâmetros ⁽²⁾				Validação Cruzada ⁽⁴⁾		
			C ₀	C ₀ + C ₁	A	R ²	Var	Média	r
MiP	0,0-0,1	EPP	---	---	---	--	--	--	--
	0,1-0,2	GAUS	0,0004	0,0009	39,6	0,94	0,98	0,002	0,61**
MaP	0,0-0,1	EXP	0,002	0,0042	33,6	0,76	1,01	0,001	0,29*
	0,1-0,2	EXP	0,002	0,0042	12,5	0,91	1,01	0,002	0,24*
PT	0,0-0,1	EXP	0,0002	0,0023	12,9	0,83	1,02	0,001	0,23*
	0,1-0,2	EPP	---	---	---	--	--	--	--

(1)EXP = exponencial; GAUS = gaussiano; ESF = esférico; EPP = efeito pepita puro (2) Co = efeito pepita; Co+C1= patamar; A = alcance; R² = coeficiente de determinação do semivariograma; (3) grau de dependência espacial expressa em porcentagem (<25% - forte dependência espacial, 25 a 75 % - moderada dependência espacial e > 75% fraca dependência espacial) (Cambardella et al., 1994); (4) Validação cruzada feita com a média do erro reduzido e a variância do erro reduzido, e coeficiente de correlação simples entre dados observados e estimado da validação cruzada, sendo ** significando p<0,01 e * significando p<0,05; (5) dados com transformação logarítmica.