

Determinação da variabilidade espacial das propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Eutrófico da Região Serrana do Estado do Espírito Santo.

Lucas Rodrigues Nicole⁽¹⁾; Edney Leandro da Vitória⁽²⁾; Haroldo Carlos Fernandes⁽³⁾.

⁽¹⁾ Graduando em Agronomia; Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB / Universidade Federal do Espírito Santo - UFES; São Mateus, Espírito Santo; lucas.nicole@idaf.es.gov.br. ⁽²⁾ Professor Adjunto; DCAB / UFES; edney.vitoria@ceunes.gov.br; ⁽³⁾ Professor Associado; Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; haroldo@ufv.br.

RESUMO: A geoestatística tem sido aplicada por diferentes pesquisadores no estudo da distribuição espacial e temporal das propriedades físicas do solo. Este trabalho teve por objetivo estudar a distribuição das propriedades físicas do solo e ajustá-las às ferramentas geoestatísticas; estabelecer e descrever a estrutura de dependência espacial de cada variável; e gerar mapas de contorno de isolinhas para estas propriedades. O trabalho foi realizado no município de Santa Teresa, região Serrana do Espírito Santo. A área experimental foi cultivada nos cinco anos anteriores a implantação do experimento com as culturas de sorgo, colômbio e tifton. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Eutrófico de textura arenosa. As variáveis quantificadas foram densidade do solo, porosidade total, volume de macroporos, volume de microporos e resistência do solo à penetração. Os dados foram submetidos à análise exploratória, as quais foram realizadas com *softwares* e Sistema para Análises Estatísticas. As variáveis, em sua maioria, apresentaram assimetria e curtose compatíveis com a distribuição normal e coeficientes de variação de médios a baixos. A média da resistência do solo à penetração apresentou-se consideravelmente alta. O modelo matemático exponencial foi ajustado a maioria dos semivariogramas. A maioria das variáveis apresentou forte dependência espacial. Os menores valores para o alcance foram para resistência do solo à penetração, densidade do solo e teor de água no solo. A parcela experimental apresentou variabilidade espacial com razão de dependência forte para a maioria das variáveis.

Termos de indexação: caracterização física, geoestatística, solos.

INTRODUÇÃO

A quantificação da variabilidade das propriedades físicas do solo no espaço e no tempo é considerada, atualmente, o fundamento para o manejo preciso de áreas agrícolas. O uso de técnicas geoestatísticas permite quantificar a

existência da variabilidade e a distribuição espacial das variáveis estudadas, possibilitando uma descrição detalhada das propriedades físicas do solo no espaço e/ou no tempo.

O conhecimento da variabilidade de características do solo, clima e rendimento de culturas, em locais específicos, é base para a agricultura de precisão e neste conceito está implícita a realização do manejo destas características em locais específicos dentro da área (Mulla & Schepers, 1997).

A geoestatística tem sido aplicada por diferentes pesquisadores no estudo da distribuição espacial e temporal das propriedades físicas de solo. Variáveis como densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, além do conteúdo de água do solo têm sido muito estudadas (Vauclin et al., 1983; Souza et al., 2001).

A correlação espacial tem sido utilizada em diversos estudos envolvendo variáveis químicas do solo e a produtividade das culturas (Souza et al., 2001); teor de água no solo e textura do solo (Vauclin et al., 1983); pH, alumínio trocável, CTC e teores de cálcio (Holmes, 2005). Em termos de variáveis físicas, o estudo de Buttafouco et al. (2005) envolve as variações no teor de água do solo durante um período de secamento/umedecimento.

O sistema de manejo do solo é considerado uma das fontes mais importantes de variabilidade das propriedades físicas do solo. Alguns trabalhos têm comparado sistemas de manejo com e sem revolvimento do solo (Souza et al., 2001; Falleiro et al., 2003; Sepaskhah et al., 2005).

Os objetivos deste estudo foram: estudar a distribuição das propriedades físicas do solo e ajustá-las às exigências das ferramentas geoestatísticas; estabelecer e descrever a estrutura de dependência espacial de cada variável; e gerar mapas de contorno de isolinhas para propriedades do solo que apresentarem dependência espacial.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Ensino Superior, Campus de Santa Teresa, localizada no município de Santa

Teresa, região Serrana do Espírito Santo, situado entre as coordenadas 19°49'09" de latitude sul e 40°40'17" de longitude oeste. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Eutrófico, textura arenosa, com 300 g kg⁻¹ de argila, 70 g kg⁻¹ de silte e 630 g kg⁻¹ de areia, conforme Neiro (2002).

A área experimental foi cultivada nos cinco anos anteriores a implantação do experimento, em um sistema de preparo conservacionista, rotação de cultura e cultivo mínimo do solo, com as culturas de sorgo (*Sorghum bicolor*), colônia (*Panicum maximum*) e tifton (*Cynodon spp*).

Foram definidas as direções dos eixos cartesianos da malha geostatística experimental numa área retangular de 40 x 50 m obtendo-se uma malha regular de 5 x 5 m.

As variáveis quantificadas foram a densidade do solo (Ds), a porosidade total (Pt), o volume de macroporos (Mac), o volume de microporos (Mic), e a resistência do solo à penetração (Rp). Foram coletadas amostras indeformadas por meio do método do anel volumétrico de Uhland em dois níveis de profundidade do perfil do solo: 0,0 – 0,15 m e 0,15 – 0,30 m, utilizando-se o ponto de cruzamento das coordenadas X,Y como local de amostragem.

Os dados foram submetidos à análise exploratória, a partir da qual obteve-se a média, a mediana, os valores mínimos e máximo, variância, o coeficiente de variação, a curtose, a assimetria e a distribuição de frequências. Os dados foram submetidos ao teste Kolmogorov-Smirnov, para a constatação da aproximação à distribuição normal. Estas análises foram realizadas com os *softwares Geostatistics for the Environmental* versão 9.0 (GS+, 2004), *Statistical Analysis System* (SAS Institute, 2002) e *Sistema para Análises Estatísticas* (SAEG, 2007), considerando um nível de significância igual a 5%.

A estimativa de valores das variáveis para locais não amostrados foi realizada pela krigagem, que usa a soma dos pesos igual à unidade, e variância mínima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estatísticos das variáveis do solo analisadas estão na **Tabela 1**, enquanto os parâmetros do semivariograma das variáveis que apresentaram dependência espacial estão na **Tabela 2**. As variáveis, em sua maioria, apresentaram assimetria e curtose compatíveis com a distribuição normal (valores próximos de zero) e coeficientes de variação de médios a baixos (< 20), a exceção foi a resistência do solo à penetração valores para coeficiente de variação, considerado

alto (> 20), segundo a classificação adotada por Carvalho et al. (2002).

Observa-se, também (**Tabela 1**), que a média da resistência do solo à penetração apresenta-se consideravelmente alta, equiparando-se aos valores encontrados por Farias et al (2004), obtidos em solos arenosos sob sistema de plantio direto com compactação na camada superficial do solo. A resistência do solo à penetração encontrada pode estar associada à compactação de subsuperfície que geralmente ocorre no preparo convencional.

O modelo matemático exponencial ajustado a maioria dos semivariogramas é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo (Souza et al., 2001). A respeito do Grau de Dependência Espacial (GDE) observa-se (**Tabela 2**), que a maioria das variáveis apresenta forte dependência espacial, concordando com Souza et al. (2001).

A dependência espacial ocorreu principalmente nas variáveis obtidas na camada superior do solo de 0,0 – 0,15 m, porém apenas uma variável não apresentou dependência espacial na profundidade de 0,15 – 0,30 m, a resistência do solo à penetração, ocorrendo o que se denomina efeito pepita puro, segundo Souza et al. (2001), impossibilitando, portanto, o ajuste de um modelo ao semivariograma. A explicação para a ocorrência da dependência espacial na camada superficial pode estar associada ao preparo do solo convencional, onde os equipamentos de preparo, arado e grade movimentam demasiadamente a camada superior afetando sua estrutura original, tornando pontos próximos entre si mais semelhantes do que os mais distantes, bem como ao fato de ser o solo ser arenoso e estruturado. De acordo com Prado (2003), os Latossolos apresentam partículas bem estruturadas pedologicamente e, quando associadas ao revolvimento da camada superficial, podem ter favorecido ainda mais a dependência espacial encontrada, o que não aconteceu com todos os parâmetros na camada inferior, onde houve pouco ou nenhum revolvimento.

Os menores valores para o alcance foram para resistência do solo à penetração, densidade do solo e teor de água no solo, indicando que os pontos são mais semelhantes entre si num raio de 6,0, 10,4 e 15,8 m, respectivamente, já, para as demais variáveis, os raios aumentam na média superior a 20 m. Isto mostra que o alcance da dependência espacial depende da variável e que, se as amostragens realizadas nesta área considerassem este alcance, os dados obtidos poderiam representar melhor a realidade da área amostrada. Variáveis como o teor de água podem ser amostradas em espaçamentos maiores, pois o alcance obtido foi maior do que para as demais, ao



passo que medições pontuais, como a resistência do solo à penetração, podem resultar em dependência espacial menor e devem ser amostradas em distâncias menores.

CONCLUSÕES

A parcela experimental apresentou variabilidade espacial com razão de dependência forte para a maioria das variáveis, principalmente na camada superficial (0,0 – 0,15 m) e alcance variando de 6 a 34 m.

A dependência espacial encontrada para as variáveis, bem como a semelhança de comportamento entre elas, permite inferir que amostragem ao acaso resultaria em interpretações incorretas e falhas.

O grau de homogeneidade não foi determinado pelo tamanho da área experimental.

REFERÊNCIAS

- BUTTAFUOCO, G.; CASTRIGNANO, A.; BUSONI, E.; DIMASE, A.C. Studying the spatial structure evolution of soil water content using multivariate geostatistics. **J. Hydrology**, v. 311, p. 202-218, 2005.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 37, p. 1151-1159, 2002.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.
- FARIAS, L.N. et al. Variabilidade espacial de alguns parâmetros físico-hídricos de solos de uma pastagem do sistema integrado de produção agroecológica (Fazendinha km-47). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2004, Piracicaba. **CD-ROM...** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
- GEOSTATISTICS for environmental science – GS+. 7.ed. Michigan, Plainwell, Gamma Design Software, 2004. 159 p.
- HOLMES, K.W.; KYRIAKIDIS, P.C.; CHADWICK, O.A.; SOARES, J.V.; ROBERTS, D.A. Multi-scale variability in tropical soil nutrients following land- cover change. **Biogeochemistry**, v. 74, p. 173-203, 2005.
- MULLA, D.J.; SCHEPERS, J.S. **Key processes and properties for site-specific soil and crop management**. p.1-18. In: P. C. Robert et al. (ed) Site-Specific management for agricultural systems. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 1997.
- NEIRO, E.S. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distroférico, sob rotação e sucessão de culturas, sob semeadura direta**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, levantamento, manejo agrícola e geotécnico**. 3.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. 275 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**, version 9.1. Cary, 2002.
- SEPASKHAH, A.R.; AHMADI, S.H.; NIKBAKHT SHAHBAZI, A.R. Geostatistical analysis of sortivity for a soil under tilled and no-tilled conditions. **Soil Til. Res.**, v. 83, p. 237-245, 2005.
- SOUZA, L.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 699-707, 2001.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **SAEG: sistema para análises estatísticas**, versão 9.1. Viçosa, 2007.
- VAUCLIN, S.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of CoKriging with limited field soil observations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 47, n. 2, p. 175-184, 1983.

Tabela 1 – Análise descritiva das propriedades físicas do solo.

Estatística	Variável ⁽¹⁾					
	Ds kg.m ⁻³	PT m ³ .m ⁻³	Rp MPa	Ug g.kg ⁻¹	Mac m ³ .m ⁻³	Mic m ³ .m ⁻³
	0 – 0,15 m					
Média	1,44	0,401	1,44	0,203	0,113	0,289
Mediana	1,45	0,390	1,50	0,202	0,109	0,281
Mínimo	1,18	0,220	0,440	0,17	0,062	0,158
Máximo	1,70	0,620	2,32	0,250	0,174	0,446
Variância	0,013	0,058	0,150	0,002	0,004	0,003
CV (%) ⁽²⁾	7,8	18,9	26,6	4,1	19,0	18,9
Assimetria	-0,59	0,40	-0,13	0,09	0,390	0,398
Curtose	-0,030	0,685	-0,224	1,55	0,685	0,680
d ⁽³⁾	0,151	0,126	0,071	0,047	0,126	0,126
	0,15 – 0,30 m					
Média	1,58	0,322	2,40	0,243	0,039	0,283
Mediana	1,60	0,312	2,41	0,242	0,037	0,275
Mínimo	1,30	0,176	0,760	0,200	0,021	0,155
Máximo	1,87	0,496	4,20	0,300	0,060	0,436
Variância	0,016	0,004	0,49	0,0002	0,00005	0,003
CV (%) ⁽²⁾	7,9	5,4	29,2	6,7	5,5	5,6
Assimetria	-0,57	0,39	0,17	-0,225	0,398	0,378
Curtose	-0,096	0,685	-0,283	1,117	0,685	0,631
d ⁽³⁾	0,034	0,045	0,045	0,046	0,048	0,048

⁽¹⁾Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Rp: resistência do solo à penetração; Ug: umidade gravimétrica; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; ⁽²⁾CV = coeficiente de variação; ⁽³⁾d = distribuição normal.

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos atributos físicos do solo.

	Variável ⁽¹⁾					
	Ds	PT	Rp	Ug	Mac	Mic
	0,0 – 0,15 m					
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico	Exponencial	Gaussiano	esférico
Efeito pepita (C ₀)	1,5 x 10 ⁻⁴	9,5 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴	8,0 x 10 ⁻⁵	7,5 x 10 ⁻⁵	1,3 x 10 ⁻³
Patamar (C + C ₀)	1,2 x 10 ⁻²	7,4 x 10 ⁻³	1,4 x 10 ⁻¹	2,4 x 10 ⁻⁴	6,0 x 10 ⁻⁴	4,9 x 10 ⁻³
Alcance (a)	10,4	22,4	6,0	26,9	22,3	22,8
GDE ⁽²⁾	Forte	Forte	Moderada	Moderada	Forte	Moderada
R ²	98,0	99,0	0,0	94,5	99,0	99,7
SQR ⁽³⁾	9,16 x 10 ⁻⁷	2,15 x 10 ⁻⁸	1,40 x 10 ⁻⁴	1,11 x 10 ⁻¹⁰	1,67 x 10 ⁻¹⁰	9,79 x 10 ⁻⁹
	0,15 – 0,30 m					
Modelo	Exponencial	Gaussiana	epp ⁽⁴⁾	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Efeito pepita (C ₀)	2,8 x 10 ⁻⁴	9,5 x 10 ⁻⁴	4,8 x 10 ⁻¹	1,0 x 10 ⁻⁵	1,9 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻⁵
Patamar (C + C ₀)	1,5 x 10 ⁻²	7,6 x 10 ⁻³	-	2,5 x 10 ⁻⁴	1,1 x 10 ⁻⁴	6,1 x 10 ⁻⁵
Alcance (a)	10,1	22,7	-	15,8	18,9	34,1
GDE ⁽²⁾	Forte	moderada	-	moderada	Forte	moderada
R ²	72,6	94,5	-	81,4	92,6	97,1
SQR ⁽³⁾	1,54 x 10 ⁻⁶	1,98 x 10 ⁻⁸	-	8,24 x 10 ⁻¹⁰	5,54 x 10 ⁻¹¹	1,91 x 10 ⁻⁷

⁽¹⁾Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; Rp: resistência do solo à penetração; Ug: umidade gravimétrica; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; ⁽²⁾GDE = grau dependência espacial; ⁽³⁾SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ⁽⁴⁾epp = efeito pepita puro.