

Variabilidade espacial de algumas propriedades físicas em três solos para duas profundidades

Spatial variability of some physical properties of three soils at two depths

Rodrigo Vilella Machado¹, Valter Antonio Becegato², Sílvio Luís Rafaelli Neto³, Olívia Aparecida Rodolfo Figueiredo³

Recebido em 11/05/2006; aprovado em 11/08/2006.

RESUMO

Este trabalho objetivou caracterizar a variabilidade espacial da densidade do solo, de partículas e da porosidade total do solo através da estatística clássica e de técnicas de geoestatística. Três solos foram analisados: Latossolo Vermelho Amarelo, Gleí Pouco Húmico e Orgânico. Em cada solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. A amostragem sistemática constituiu numa quadrícula com espaçamento variável de 0,75 a 4,5 m, totalizando vinte e cinco pontos por camada. A análise dos dados permitiu, no Latossolo Vermelho Amarelo e no Gleí Pouco Húmico, a identificação do alcance amostral variando entre 1,5 a 5 m, estabelecendo o limite a partir do qual as amostras se tornam independentes. No solo Orgânico este alcance foi maior do que as dimensões do campo amostral, não sendo possível a sua identificação, exceto para a porosidade total na profundidade de 0-20 cm.

PALAVRAS-CHAVE: física de solo, variabilidade espacial e geoestatística.

SUMMARY

This work was carried out aiming to evaluate soil parameters such as bulk density, particle density and porosity through classical statistics and geostatistics techniques. Three soils were evaluated: Red-Yellow Latosol, Low Humic Gley soil and Bog soil. Samples were collected at 0 - 20 and 20 - 40 cm depth in a square grid with space varying from 0.75 to 4.5 m,

resulting in twenty five points per layer. The Red-Yellow and on Low Humic Gley soil data analyses allowed the identification of a sampling space interval ranging from 1.5 to 5 m, establishing a limit where samples start being independent. Conversely, at the Bog soil, the sampling interval was larger than the sampling field dimension, precluding the identification of a similar limit.

KEY WORDS: soil physics, spatial variability and geostatistics.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo é importante por ser este um sistema heterogêneo. Segundo Trangmar et al. (1985), a precisão das afirmativas que podem ser feitas a respeito das propriedades do solo em determinado local, depende amplamente do grau de variação dentro da área amostrada. Considerando que os fatores e processos de formação do solo interagem de modo diferente, tanto no espaço como no tempo, a natureza da variabilidade identificada pelos estudos georreferenciados das propriedades do solo depende largamente da escala de observação, da propriedade em questão e da metodologia utilizada. Portanto, quando se estuda com mais detalhe um solo, a heterogeneidade previamente definida como aleatória, pode ser considerada como sistemática.

Cressiê (1991) justifica a importância de uma abordagem que leve em consideração a dependência espacial, mostrando os efeitos da autocorrelação espacial em pro-

¹ Professor do Depto de Engenharia-UFLA, c.p. 37 Campus Universitário - Lavras-MG. E-mail rvmac@ufla.br;

² Professor UDESC/CAV. E-mail becegato@cav.udesc.br ;

³ Professores UDESC/CAV.

blemas de estimação, predição e delineamentos de experimentos. A variabilidade espacial das características dos solos constitui um problema, porque, em muitos casos, não é aparente e porque nem sempre podem ser medidas no espaço (BERG e KLAMT, 1997). Tendo em vista os aspectos apresentados, há que se buscarem ferramentas adequadas para a caracterização da variabilidade espacial do solo, que pode ser visto sob dois enfoques: o tamanho ou magnitude da variabilidade espacial, normalmente estudado através da estatística clássica, e o estudo do comportamento (ou estrutura) desta variabilidade, para a qual se usa a geoestatística.

A geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas possibilita o estudo do comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura desta variabilidade, além de poder também quantificar o seu tamanho (LANDIM, 1998). O fato de a teoria das variáveis regionalizadas ser tratada como um termo próprio "geoestatística" acabou por gerar algumas confusões e muitos autores se referem a "estatística clássica" e a "geoestatística" como se fosse possível fazer tal distinção e cuja divisão carece de fundamentação (RIBEIRO JÚNIOR, 1995). A amostragem pode ser feita segundo transeções numa dada direção x ou através de malhas (grids) em duas ou três dimensões (REICHARDT et al. 1986). Em qualquer caso é imprescindível o conhecimento da localização geográfica dos pontos amostrados.

Discussões à respeito de amostragem são encontradas em Entz e Chang (1991), Petersen e Calvin (1986). A análise da dependência espacial pode ser feita através de correlogramas e semivariogramas, entretanto o semivariograma é de uso mais geral (TRANGMAR et al. 1985). Segundo Libardi et al. (1986), o semivariograma permite, através do alcance, obter a distância de separação entre amostras, nos quais os valores observados são relacionados uns aos outros, mostrando a potencialidade de tal função, em futuros esquemas de amostragem.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o grau e estrutura da variabilidade espacial para os atributos densidade do solo, densidade de partículas e porosidade, em 3 classes de solos numa área utilizada para pastejo animal, procurando estabelecer uma

malha de amostragem que refletisse a dependência espacial das características estudadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi conduzido em três classes de solos de uma hidrossequência: Latossolo Vermelho Amarelo (LV), Glei Pouco Húmico (HGP) e Orgânico (HO). Realizou-se amostragem sistemática em cada classe de solo, retirando amostras nas camadas 0 - 20 e 20 - 40 cm numa malha quadriculada de 9,0 x 9,0 m, com espaçamentos entre pontos variando de 0,75 a 4,5 m totalizando 25 pontos por camada (Figura 1). Foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformadas. As amostras com estrutura deformada foram utilizadas para a determinação da densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico conforme Blake (1986a). Para as amostras com estrutura indeformada foram retiradas com o amostrador Uhland em cilindros com volume de 312 cm³. Para a determinação da densidade do solo, adotou-se a metodologia descrita por Blake (1986b). A porosidade total obtida também a partir de amostras indeformadas, foi considerada como o volume de água no solo no ponto de saturação.

Os semivariogramas obtidos para os atributos do solo nas camadas 0 - 20 e 20 - 40 cm, dos três solos estudados foram estimados utilizando-se o pacote GeoR (RIBEIRO JÚNIOR e DIGBLE, 2001) do programa computacional R gratuito e de código aberto, cujos modelos obtidos foram: esférico, gaussiano e exponencial. Obteve-se ainda, semivariogramas sem estrutura definida, em que não foi possível encontrar um modelo que se ajustasse aos dados. Quando o alcance é menor que o menor "lag" da amostragem, tem-se o chamado "efeito pepita puro", e o fenômeno tem uma distribuição espacial completamente ao acaso com respeito ao espaço de amostragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros obtidos da estatística clássica para as características estudadas nas duas camadas de cada solo são apresentados na Tabela 1. Observa-se pelos dados que os atributos estudados apre-

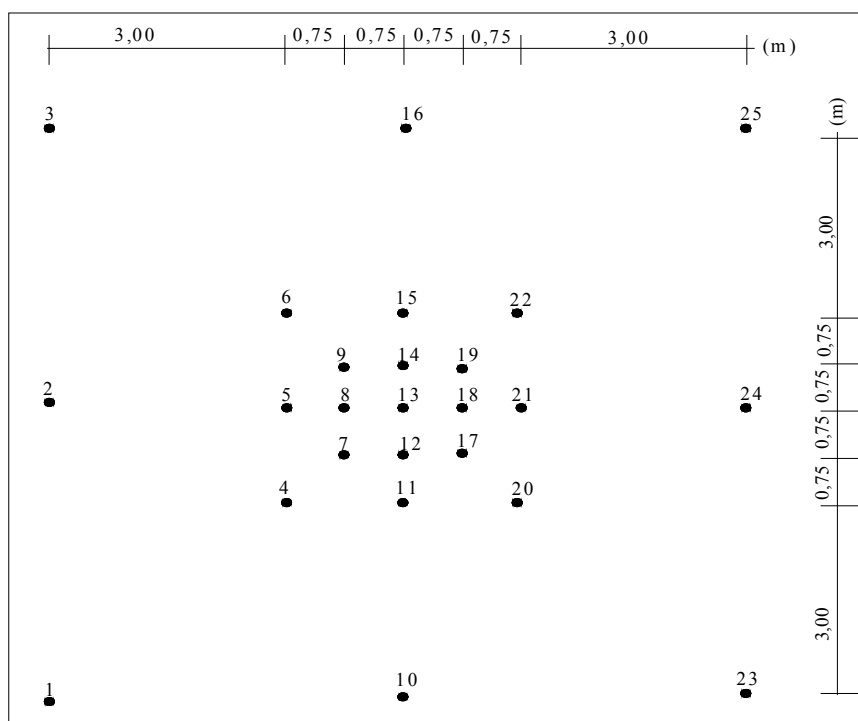


Figura 1- Malha de pontos amostrados.

Tabela 1- Limites mínimo, máximo e coeficiente de variação para as características estudadas nos três solos.

<i>Atributos</i>	<i>Solos</i>	<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Coeficiente de variação (%)</i>
Ds (g/cm ³)	LV*	0 - 20	1,18	1,11	1,26	2,84
		20 - 40	1,10	1,04	1,15	2,39
	HGP	0 - 20	1,40	1,31	1,48	3,10
		20 - 40	1,30	1,22	1,41	3,86
	HO	0 - 20	0,54	0,39	0,78	17,96
		20 - 40	0,70	0,41	1,01	19,17
Dp (g/cm ³)	LV	0 - 20	2,59	2,38	2,78	3,65
		20 - 40	2,63	2,56	2,70	1,31
	HGP	0 - 20	2,58	2,50	2,67	1,91
		20 - 40	2,63	2,56	2,70	1,31
	HO	0 - 20	2,05	1,46	2,40	12,25
		20 - 40	2,28	1,98	2,53	4,91
Pt (cm ³ /100 cm ³) ²	LV	0 - 20	51,89	49,32	55,27	3,18
		20 - 40	54,09	50,93	56,98	2,85
	HGP	0 - 20	41,49	38,90	45,60	4,15
		20 - 40	44,22	40,08	47,09	4,64
	HO	0 - 20	74,97	64,69	81,73	5,11
		20 - 40	69,00	56,96	79,51	7,14

*LV- Latossolo Vermelho Amarelo; HGP - Gleí Pouco Húmico; HO - Orgânico.

sentaram pequena variabilidade nas duas camadas dos solos em questão, com exceção do solo Orgânico, onde se observou uma maior variação nos valores de densidade do solo. Os coeficientes de variação encontrados para a densidade do solo estão de acordo com aqueles encontrados por Warrick e Nielsen (1980) e Macedo et al. (1998), que obtiveram valores abaixo de 10%. De um modo geral a densidade de partículas na camada de 0 - 20 cm deste solo foi o parâmetro mais variável, seguido do Gleí Pouco Húmico e Latossolo Vermelho Amarelo, cujas explicações estão nos processos de formação destes solos. Para o Gleí Pouco Húmico foram encontrados valores relativamente elevados para a densidade do solo, os quais refletem a influência dos maiores teores da fração areia desses solos.

Estes resultados podem também ter sido influenciados pela compactação ocasionada por pisoteio de gado haja visto a área em questão estar sendo continuamente utilizada como pastagem. Os parâmetros característicos dos semivariogramas efeito pepita (C_0), alcance (a) e patamar (C_0+C_1), são apresentados na Tabela 2 e os semivariogramas

obtidos estão representados nas Figuras 2 a 4. O ajuste dos semivariogramas foram baseados no valor da verossimilhança, evitando-se o princípio da parcimônia, que induz a preferir modelos com um número menor de parâmetros.

Quanto maior o número de parâmetros, mais chance um modelo tem de produzir um melhor ajuste, o qual pode ser encontrado pela aplicação do Critério de Akaike (AIC), cuja ordem do modelo será aquela que minimizar o valor de AIC (WEBSTER e MCBRATNEY, 1989). O critério é especialmente útil quando se pensa em ajustar modelos com mais de uma estrutura.

A independência entre as amostras verificada para a densidade de partículas na camada de 0-20 cm (Figura 3 - esquerda), e mesmo o pequeno alcance observado na camada de 20-40 cm (Figura 3 - direita), provavelmente, se deve ao fato deste atributo nesta situação depender principalmente da constituição mineralógica, sendo pouco influenciada por fatores induzidos pelo manejo.

De acordo com a Tabela 2, observa-se que Existe pequena dependência espacial entre amostras

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas das características estudadas nos três solos.

<i>Atributos</i>	<i>Solos</i>	<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Modelo</i>	<i>Co</i>	<i>Alcance (m)</i>	<i>Co+C1</i>	
Ds	LV*	0 - 20	GAUS	0,01	5,0	0,13	
		20 - 40	GAUS	0,0	2,0	0,07	
	HGP	0 - 20	ESF	0,0	1,5	0,18	
		20 - 40	GAUS	0,0	2,0	0,28	
		HO	0 - 20	GAUS	0,08	Indet	0,13
			20 - 40	ESF	0,01	Indet	0,14
Dp	LV	0 - 20	S/E	---	---	---	
		20 - 40	GAUS	0,02	3,0	0,12	
	HGP	0 - 20	ESF	0,05	1,5	0,23	
		20 - 40	GAUS	0,02	3,0	0,12	
		HO	0 - 20	GAUS	0,0	Indet	0,06
			20 - 40	GAUS	0,0002	Indet	0,0012
Pt	LV	0 - 20	S/E	---	---	---	
		20 - 40	ESF	0,1	2,5	1,6	
	HGP	0 - 20	GAUS	0,0	2,0	3,5	
		20 - 40	EXP	1,0	5,0	3,6	
		HO	0 - 20	GAUS	0,0	4,0	14,0
			20 - 40	ESF	0,0	Indet	20,0

S/E = sem estrutura, ESF = esférico, GAUS = gaussiano, EXP = exponencial, Indet. = Indeterminado.

*LV- Latossolo Vermelho Amarelo; HGP - Gleí Pouco Húmico; HO - Orgânico.

no Latossolo Vermelho Amarelo e para o Gleí Pouco Húmico, com o alcance amostral (a) variando de 1,5 a 5 m, indicando que até esta distância as amostras estão correlacionadas, não devendo ser aplicados métodos estatísticos que consideram as amostras como sendo aleatórias e independentes (SOARES, 2000; ANDRIOTTI, 2003), quando se tiver amostragens realizadas a distâncias menores que o alcance.

O alcance da dependência espacial diz o quanto os pontos estão correlacionados entre si, isto é, os pontos localizados dentro da área de alcance são mais homogêneos do que aqueles localizados fora do alcance (JOURNEL e HUIBJERTS, 1991).

No solo Orgânico a dependência espacial foi bem maior, visto que na maioria dos casos o alcance e o patamar não puderam ser determinados para as dimensões do campo amostral.

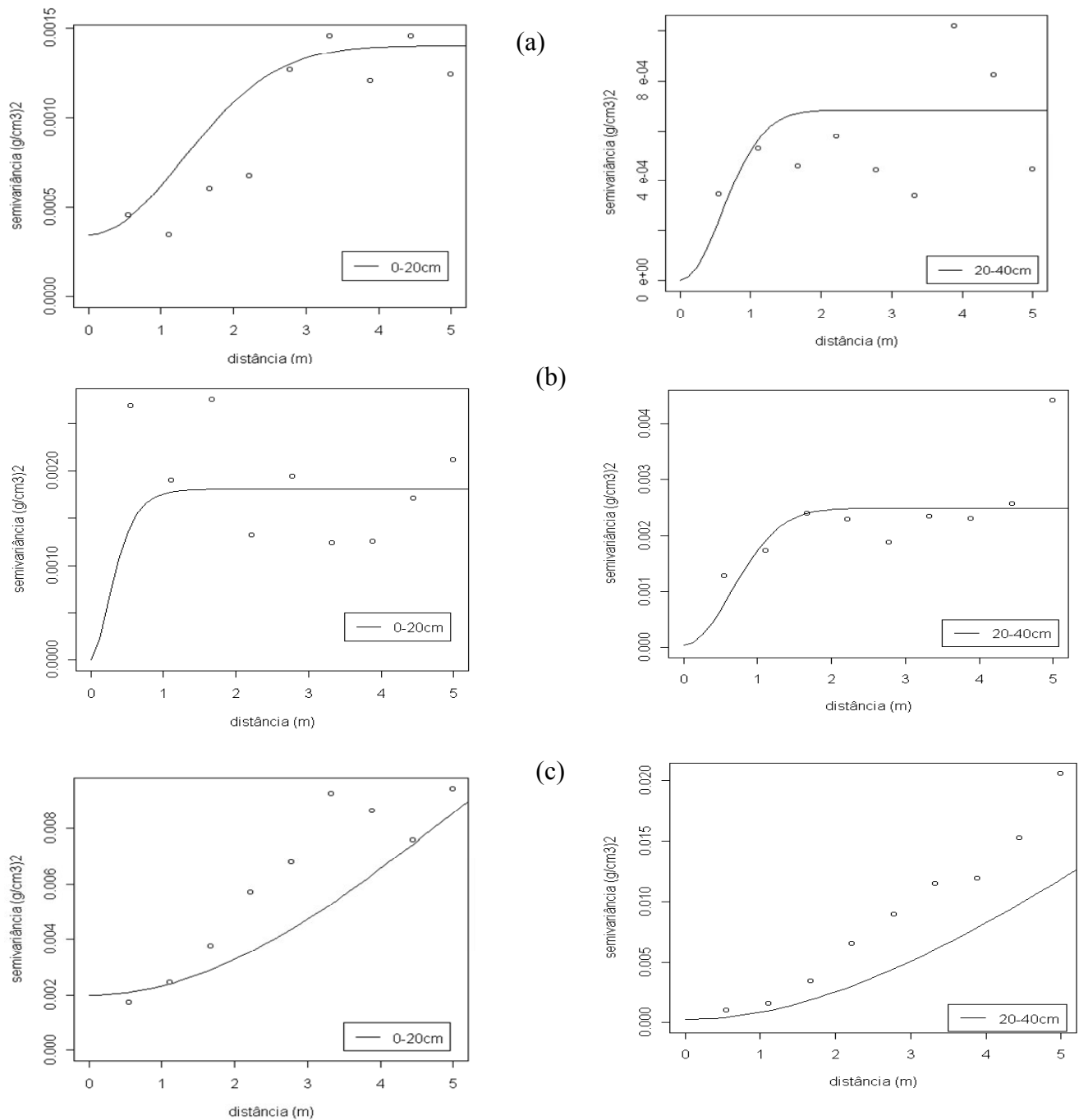


Figura 2 - Semivariogramas ajustados para densidade do Solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do Latossolo Vermelho Amarelo (a), Gleí Pouco Húmico (b) e Orgânico (c).

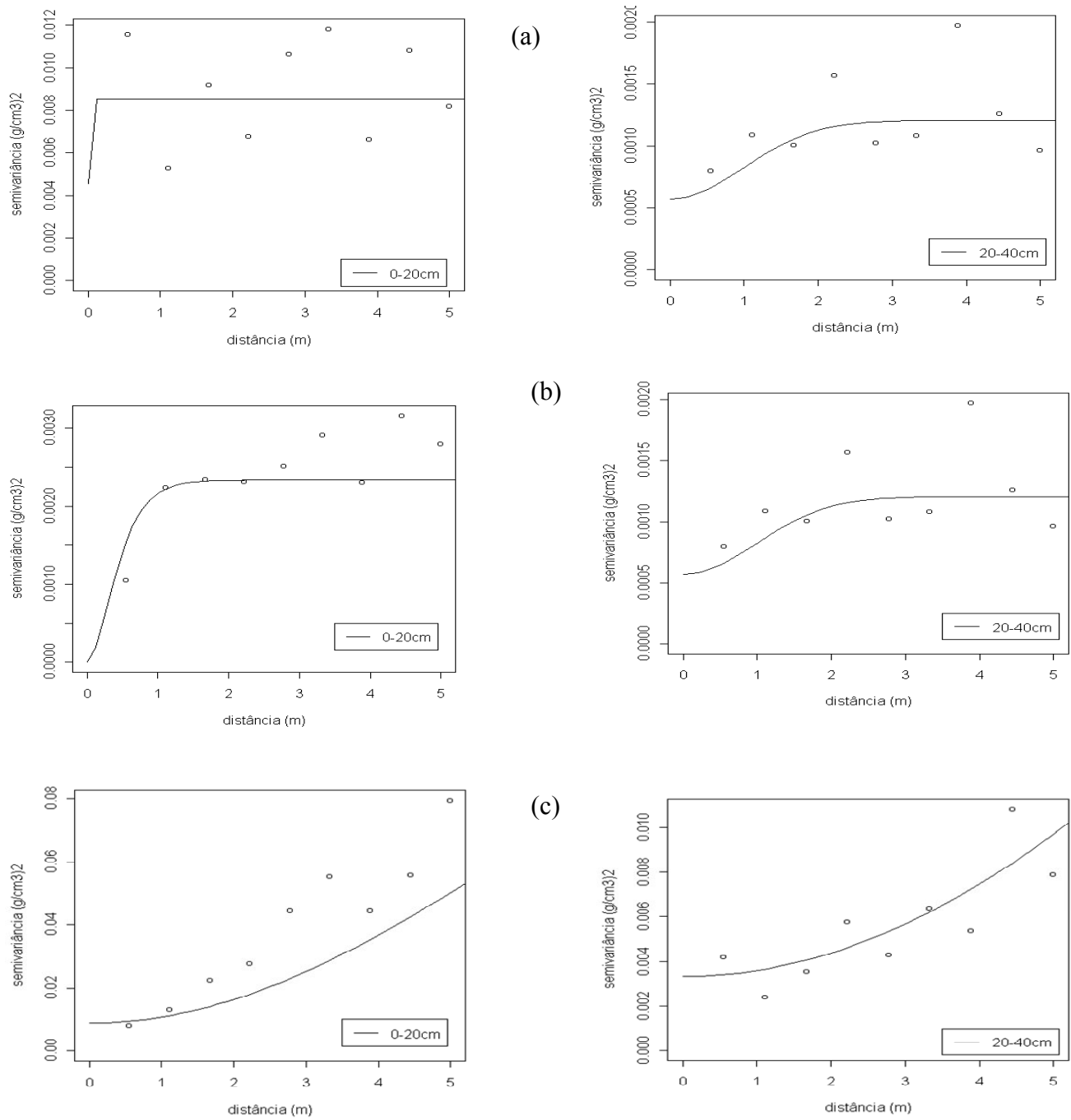


Figura 3 - Semivariogramas ajustados para densidade de partículas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do Latossolo Vermelho Amarelo (a), Gleí Pouco Húmico (b) e Orgânico (c).

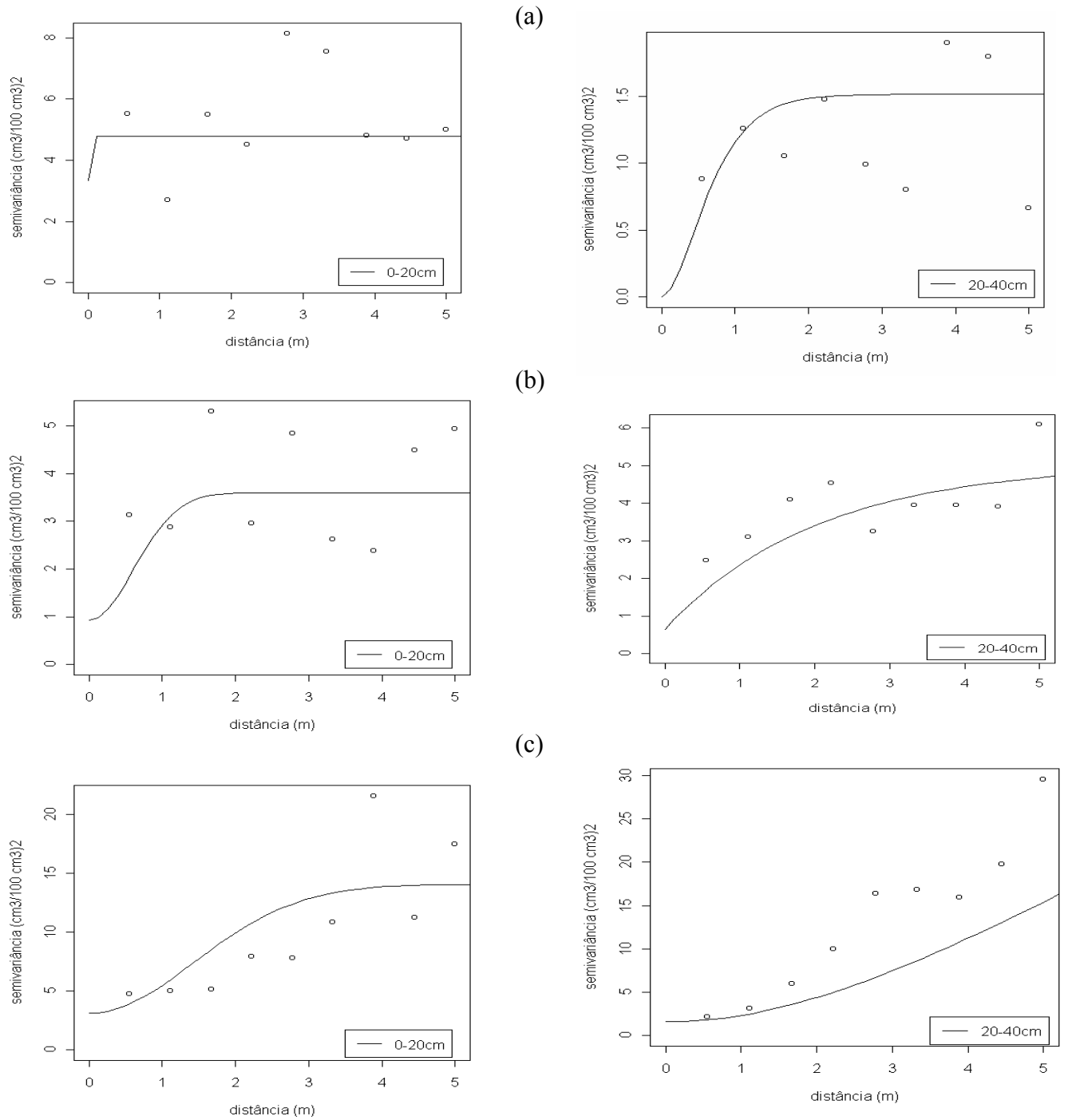


Figura 4 - Semivariogramas ajustados para porosidade total nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do Latossolo Vermelho Amarelo (a), Gleí Pouco Húmico (b) e Orgânico (c).

Tal afirmação está de acordo com Staturo (1988) e Isaaks e Srivastava (1989), os quais chamam a atenção de que o comportamento parabólico do modelo Gaussiano próximo à origem é reflexo de boa continuidade, ou seja, a dependência entre amostras é alta. Segundo o primeiro autor, isto pode ser explicado pela natureza dos processos de formação, pois o Orgânico se forma pela deposição ao longo do tempo destes materiais os quais se encontram em estados diferenciados de decomposição. Este fenômeno não ocorre no Latossolo por ser um solo mais velho. A forma linear na origem reflete uma continuidade moderada.

CONCLUSÕES

A variabilidade espacial nesta área estava condicionada à posição dos solos na paisagem, sendo o solo Orgânico o que apresentou maior variação dentro da hidrossequência, seguido do Gleí Pouco Húmico e Latossolo Vermelho-Amarelo.

Ocorreu dependência espacial na área do Latossolo Vermelho Amarelo e do Gleí Pouco Húmico, para amostras separadas de até cinco metros, aproximadamente, não devendo ser utilizados métodos estatísticos que consideram as amostras como sendo independentes e aleatórias, coletados a distâncias inferiores a esta.

Na área de ocorrência do solo Orgânico a dependência espacial foi bem maior, não sendo possível estabelecer o alcance amostral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2003. 165 p.

BERG, M. V. D; KLAMT, E. Variabilidade de características de solos na região do planalto médio do RS: II Análise da semivariância e da variância. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 401-408, 1997.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulky density. In: Klute, A. **Methods of soil analysis, physical and mineralogical methods**. Madison: American Society

of Agronomy, 1986a p.363-375. (part 1)

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulky density. In: Klute, A. **Methods of soil analysis, physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986b p.377-382. (part 1).

CRESSIE, N. **Statistics for Spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.

ENTZ, T.; CHANG, C. Evaluation of soils sampling schemes for geoestatistical analyses: a case study for soil bulk density. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.71, n.2, p.165-176, May 1991.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geoestatistics**. An introduction to. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNAL, A. G.; HUIBJERTS, C. J. **Mining geoestatistics**. London: Academic Press, 1991. 600p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo : Ed. UNESP, 1998. 225p.

LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E. A.; MORAES S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.85-90, 1986.

MACEDO, J.R.; FILHO, T.B.O.; MENEGUELLI, N.A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo podzólico vermelho-amarelo de Seropédica, RJ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.2043-2053, dez. 1998.

PETERSEN, R.G.; CALVIN, L.D. Sampling. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis, physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.33-51. (Part I)

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 1995.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: A

package for geostatistical analysis. **R News**, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. [S.l.] : IST Press. 2006. p. 2000.

STATURO, J. R. **Estudo do comportamento espacial de variáveis geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Ribeirão Preto-SP**. 1988. 124f.. (Mestrado em Geotecnia) Universidade de São Paulo. São Carlos, 1988.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies os soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-93. 1985.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R.G.; McBRATNEY, A.B. On the Akaike information criterion for choosing models for variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.40, n.3, p. 493-496, 1989.