



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

SOUZA, Z. 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 LATOSOLO VERMELHO
DISTRÓFICO SOB SEMEADURA DIRETA EM SELVÍRIA (MS)

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, núm. 3, 2001, pp. 699-707
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218337020>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO SOB SEMEADURA DIRETA EM SELVÍRIA (MS)⁽¹⁾

**Z. M. SOUZA⁽²⁾, M. L. S. SILVA⁽²⁾, G. L. GUIMARÃES⁽²⁾,
D. T. S. CAMPOS⁽²⁾, M. P. CARVALHO⁽³⁾ & G. T. PEREIRA⁽⁴⁾**

RESUMO

Em uma paisagem natural, os solos apresentam ampla variação de propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, resultante da superposição dos diversos fatores de formação envolvidos. No caso de uma paisagem cultivada, existem outras fontes de heterogeneidade no solo devidas ao manejo exercido pelo homem. O conhecimento dessa variação é importante para o levantamento e classificação dos solos, desenvolvimento de esquemas de amostragem e definições de práticas de manejos. O presente trabalho foi realizado em agosto e setembro de 1999, na Fazenda Experimental de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP, localizada em Selvíria (MS), com o objetivo de estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado no sistema de semeadura direta. A amostragem do solo foi realizada de acordo com um desenho apropriado para a análise geoestatística na forma de uma malha em uma área de 150 m de comprimento, na direção sul, e 30 m de largura, na direção norte, totalizando 103 pontos equidistantes de 10 em 10 m e 39 pontos equidistantes de 1 m distribuídos aleatoriamente pela malha. De cada ponto definido pela malha, retiraram-se amostras nas profundidades de 0,00-0,05 m e 0,15-0,20 m. Os dados foram avaliados primeiramente por uma análise estatística exploratória, calculando-se a média, distribuição de freqüência, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. Posteriormente, a dependência espacial foi verificada por meio de semivariogramas. Os atributos microporosidade, porosidade total e densidade

⁽¹⁾ Trabalho realizado na disciplina Manejo e Conservação dos Solos, do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Sistemas de Produção Vegetal, Campus de Ilha Solteira (SP). Universidade Estadual Paulista – UNESP. Recebido para publicação em abril de 2000 e aprovado em fevereiro de 2001.

⁽²⁾ Mestrando em Agronomia/Sistemas de Produção Vegetal. Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, FEIS/UNESP. E-mail: morel@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/UNESP, Campus Jaboticabal (SP). Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castelano, s/n, CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). E-mail: genertp@fcav.unesp.br

do solo seguiram a distribuição normal, enquanto a macroporosidade e a resistência à penetração seguiram a distribuição lognormal. A umidade do solo apresentou uma distribuição mais próxima da lognormal. Os maiores coeficientes de variação foram observados para a macroporosidade e resistência à penetração, tendo as demais variáveis apresentado coeficiente de variação abaixo de 10%. Foi observada uma dependência espacial moderada para todas as variáveis estudadas. O alcance da dependência espacial variou de 8,36 m (umidade do solo) a 58,80 m (resistência à penetração).

Termos de indexação: distribuição de freqüência, coeficiente de variação, geoestatística, semivariograma, dependência espacial.

SUMMARY: SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICS ATTRIBUTES ON A DISTROPHIC RED LATOSOL UNDER NO TILLAGE SYSTEM IN SELVÍRIA (MS)

In a natural landscape, the soils present a wide variation on morphological, physical, chemical and mineralogical properties due to several soil formation factors. In a cultivated landscape others sources of variation may be present, such as anthropogenical processes. The knowledge of these variations is important to soil survey, development of sampling designs and soil management practices. This work aimed to study the spatial variability of some physical attributes of a Dystrophic Red Latosol cropped in no tillage system. It was conducted in August and September, 1999 at the Experimental Station of UNESP - Ilha Solteira campus, located in Selvíria (MS). Soil sampling was accomplished according to an appropriate geostatistical analysis design defined as a grid with 150 m length in South direction and 30 m width in North direction. There were 103 points equally spaced, 10 m apart from each other, and 39 points equally spaced, 1 m apart from each other, randomly distributed in the grid. From each point defined according to the grid it was taken one sample at the 0,00-0,05 m and one at the 0,15-0,20 m depths. The results were firstly evaluated by exploratory statistics analysis calculating average, frequency distribution, variance, coefficient of variation, and coefficients of kurtosis and skewed. Subsequently, the spatial dependence was verified through semivariogram. The microporosity, total porosity and bulk density attributes followed normal distribution, while the macroporosity and penetration resistance followed the lognormal distribution. Soil moisture presented distribution closer to the lognormal. The largest variation coefficient was verified for macroporosity and penetration resistance. The other evaluations presented variation coefficient below 10%. It was observed moderate spatial dependence for every attribute studied. The spatial dependence reachness varied from 8,36 m (soil moisture) to 58,80 m (penetration resistance).

Index terms: frequency distribution, variation coefficient, geostatistic, semivariogram, spatial dependence.

INTRODUÇÃO

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente, imposta pela natureza dos fatores responsáveis pela sua formação. No campo, geralmente, a única heterogeneidade considerada é na direção da profundidade, segundo uma coordenada z, distinguindo-se as camadas ou horizontes com diferentes propriedades (Reichardt et al., 1986). Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade espacial do solo ocorre de forma aleatória; no entanto, vários estudos

relatam que a variabilidade das propriedades químicas e físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Reichardt, 1985; Upchurch & Edmonds, 1991; Souza, 1992).

A heterogeneidade do solo é uma propriedade intrínseca do solo. Assim, uma área em condição natural ou cultivada apresentará, de acordo com o uso e manejo do solo e suas propriedades físicas, químicas e biológicas, maior ou menor heterogeneidade, podendo sua variabilidade ser alta ou baixa (Forsythe, 1970). É esperado que o tamanho da área amostrada seja suficiente para expor sua

heterogeneidade, permitindo estudar e conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo para que se possa manejá-lo corretamente.

O cultivo do solo acarreta modificações nas características físicas, dependendo da intensidade de preparo do solo. As principais alterações são evidenciadas pela diminuição do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água no solo e aumento da resistência à penetração de raízes e densidade do solo (Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; Klein & Boller, 1995; Cavenage et al., 1999).

Sistemas de manejo com menor revolvimento do solo e que proporcionam acúmulo de resíduos na superfície, em áreas anteriormente degradadas pelo preparo inadequado, estão possibilitando a recuperação das características físicas do solo. Trabalhos com o emprego do sistema de semeadura direta têm demonstrado diminuição da erosão (Castro Filho & Logan, 1991; Melo Filho & Silva, 1993; Salton et al., 1995; Segnafredo et al., 1997; Cassol et al., 1999) e aumento da taxa de infiltração de água no solo, do diâmetro dos agregados (Beare et al., 1994; Campos et al., 1995; Lucarelli, 1997; Castro Filho et al., 1998; Barcelos et al., 1999; Souza, 2000) e da atividade microbiana (Ruedell, 1995; Bayer & Mielnickzuk, 1997; Freitas et al., 2000).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas sob diferentes manejos. A análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas (Trangmar et al., 1985), como também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas a determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994).

Além disso, a eficácia da amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (Brus, 1993). A estatística clássica permite a descrição de uma propriedade, sem considerar a posição espacial das respectivas coletas. Como a ação do sistema de preparo do solo não é uniforme em toda área, torna-se importante avaliar também a distribuição espacial dos valores das suas propriedades. A geoestatística tem como base o semivariograma (Vieira, 1997), o qual permite a descrição da dependência espacial destas propriedades (Webster & Olivier, 1990).

Souza (1992), estudando a variabilidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, observou distribuição lognormal, para os dados de fósforo (P) e potássio (K), e normal, para os dados de matéria orgânica, umidade e argila. Nielsen et al. (1973), por outro lado, observaram distribuição normal para a areia, argila e umidade do solo, e muito irregular e diferente da normal, para o silte, enquanto Babalola (1978) encontrou distribuição normal para os dados de areia, silte e umidade. As diferenças no

tipo de distribuição, para o mesmo atributo do solo, resultam das diferenças no nível e na forma da variabilidade. Segundo Markus (1974), o conhecimento da distribuição de freqüência dos dados de uma variável tem importantes consequências práticas, já que os métodos de análise da estatística clássica são diferentes para dados que seguem diferentes distribuições de freqüência.

A área experimental da Faculdade de Engenharia – UNESP/Campus de Ilha Solteira, está sendo usada, desde 1975, em diversos experimentos na área agronômica. O objetivo do trabalho foi estudar a distribuição de freqüência, a variabilidade e a dependência espacial de alguns atributos físicos do solo, com o auxílio da geoestatística, visando fornecer subsídios para o planejamento de futuros experimentos agronômicos nessa área experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situada no município de Selvíria (MS), em agosto e setembro de 1999, no oitavo ano desde sua instalação. A referida fazenda localiza-se a 20° 22' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste, nas proximidades do rio Paraná, numa altitude média de 335 m. O solo no local do experimento é um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso A moderado hipodistrófico álico caulinitíco férrico compactado, muito profundo moderadamente ácido (LVD)⁽⁵⁾. O clima da região é Aw, segundo o sistema de Köppen, com chuvas no verão e estiagens no inverno, cuja precipitação média anual é de 1.300 mm, distribuída entre outubro e março, com temperatura média anual de 23,5°C.

A amostragem dos atributos físicos do solo estudados foi feita numa área de semeadura direta, após a colheita da cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). Na amostragem, utilizou-se uma malha com 103 pontos amostrais distribuídos ao acaso, constituída de quatro colunas e 16 linhas espaçadas de 10 m. Entre quatro pontos amostrais desta malha foram instaladas, inteiramente ao acaso, mais três submalhas com 13 pontos amostrais cada, espaçados de 1 m. O objetivo da adição destas três submalhas foi para detectar a dependência espacial dos atributos do solo para distâncias menores que 10 m. Para cada ponto amostral, foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0,00-0,005 m e 0,15-0,20 m, em setembro de 1999.

⁽⁵⁾ CARVALHO, M.P. Comunicação pessoal. 2000. (Deptº de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia – FEIS/UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil).

Os atributos físicos do solo estudados foram: (a) macroporosidade, microporosidade e porosidade total, em amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos com capacidade de 10^{-4} m^3 , utilizando o método da mesa de tensão, segundo EMBRAPA (1979); (b) densidade do solo, nas mesmas amostras coletadas para caracterizar a porosidade, utilizando o método do volume conhecido (EMBRAPA, 1979); (c) umidade do solo, à base de massa, pelo método da pesagem (EMBRAPA, 1979), e (d) resistência mecânica à penetração de raízes, utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, a qual foi calculada, conforme Stolf (1991), como se segue:

$$\text{RMP} = (5,6 + 6,89 \times ((N/(P-A) \times 10)) \times 0,0981 \quad (1)$$

em que RPM é a resistência mecânica do solo à penetração (MPa), N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para a obtenção da leitura, A e P são, respectivamente, as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

A área experimental vem sendo cultivada no sistema de semeadura direta há oito anos e irrigada com pivô central. Nesse período, foi adotada a seguinte rotação de culturas: feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays L.*), soja (*Glycine max (L) Merril*), aveia preta (*Avena strigosa schiels*) e milheto (*Pennisetum americanum*). O manejo das plantas espontâneas foi feito com herbicidas.

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose.

A análise da dependência espacial foi avaliada por meio da geoestatística, conforme Vieira et al. (1983) e Pannatier (1996), por meio do cálculo da semivariância. A análise geoestatística é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantesumas às outras do que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição, dada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

a qual é uma função do vetor h , dependente, portanto, da magnitude e da direção h .

A semivariância é estimada por meio da seguinte expressão:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ contra os valores correspondentes de h é denominado semivariograma.

O semivariograma constitui-se no instrumento que mede estas semelhanças, mostrando se há ou não autocorrelação espacial entre os pontos amostrados. O ideal é que a semivariância $\gamma^*(h)$ cresça com a distância entre os pontos amostrados, alcançando um valor mais ou menos constante (patamar) para determinada distância de separação, denominada alcance da dependência espacial, (a). Desta forma, amostras separadas por distâncias menores do que os valores do alcance são correlacionadas uma às outras e, para distâncias maiores que o alcance, apresentam distribuição espacial aleatória, sendo, portanto, independentes entre si.

O valor do patamar aproxima-se da variância amostral s^2 para dados estacionários. Para distâncias de separação iguais a zero, o valor da semivariância deveria ser igual a zero. Todavia, muitos atributos do solo têm um valor de semivariância diferente de zero quando h tende a zero. Esta variância diferente de zero é denominada de "variância pepita" ou "efeito pepita", representado por C_0 (Journel & Huijbregts, 1978). Ela representa a variância não explicada, que pode ser devida a erros de medidas, microvariação não detectada, quando é considerada a distância de amostragem utilizada. Quando o semivariograma for constante e igual ao patamar, para qualquer valor de h , tem-se um efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial, o que significa que o alcance, para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras, apresentando uma distribuição espacial completamente aleatória. Neste caso, a única estatística aplicável é a estatística clássica. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando $\gamma^*(h)$ é igual para todos valores de h .

A soma do efeito pepita C_0 e da variância estrutural C é aproximadamente igual ao patamar ou à variância amostral s^2 para dados estacionários. A razão entre o efeito pepita e o patamar permite a classificação e a comparação entre as propriedades do solo (Trangmar et al., 1985). Esta razão foi utilizada para definir as classes distintas de dependência espacial das variáveis do solo, utilizando a classificação de Cambardella et al. (1994). Considera-se dependência espacial forte quando a razão é inferior ou igual a 25%, dependência espacial moderada, quando a razão é superior a 25% e inferior ou igual a 75%, e dependência fraca, quando a razão é maior que 75%.

Todos os modelos dos semivariogramas foram ajustados visualmente, utilizando o programa, computacional Variowin V 2.4 (Pannatier, 1996). Neste programa, os modelos são validados pela estatística "Indicative of Goodness of Fit" IGF, traduzido como "Indicador do Melhor Ajuste" IMA, o qual é um número sem unidades. Um valor de IMA próximo a zero indica bom ajuste.

Foram ajustados aos dados os seguintes modelos: (a) esférico (Esf), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$ para $0 < h < a$ e $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$ para $h > a$; (b) exponencial (Exp), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)]$ para $0 < h < d$, onde d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido; (c) gaussiano (Gau), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes de assimetria e curtose (Quadro 1) mostraram que a microporosidade, porosidade total e densidade do solo apresentaram distribuição normal. A macroporosidade e a resistência à penetração de raízes, no entanto, apresentaram distribuição de frequência do tipo lognormal, enquanto a umidade do solo apresentou distribuição mais próxima da lognormal, nas duas profundidades analisadas, cujos resultados concordam com os obtidos por Takeda (2000).

O menor coeficiente de variação foi de 3,87%, para a umidade do solo na profundidade de 0,15-0,20 m, e o maior, 32,13%, para a resistência à penetração de raízes na profundidade de 0,00-0,05 m (Quadro 1). Adotando o critério de classificação proposto por Gomes (1984) para medida estatística de dispersão, seus valores revelaram-se como

(Quadro 1): (a) muito alto, para a resistência à penetração de raízes na profundidade de 0,00-0,05 m, concordando com dados obtidos por Cavalcante (1999); (b) alto, para a resistência à penetração de raízes na profundidade de 0,15-0,20 m; (c) médio, para a macroporosidade nas duas profundidades estudadas, e (d) baixo, para a densidade do solo, microporosidade, porosidade total e umidade, em ambas as profundidades estudadas, concordando, apenas para a densidade do solo, com dados obtidos por Souza (1992), Souza et al. (1997), Sanchez (1999) e Takeda (2000). Apesar de os coeficientes de variação permitirem comparar a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, o seu emprego não deve ser generalizado, devendo-se apreciar esses resultados segundo as finalidades a que se destina o trabalho (Oliveira & Menk, 1974).

No geral, o modelo matemático ajustado aos semivariogramas foi o esférico, exceto os ajustados aos dados de umidade do solo na profundidade de 0,00-0,05 m, e resistência à penetração de raízes na profundidade de 0,15-0,20 m, os quais se ajustaram ao modelo linear e exponencial, respectivamente (Figuras 1 e 2 e Quadro 2), concordando com Cavalcante (1999).

Avaliando a razão do efeito pepita sobre o patamar para as variáveis estudadas, observou-se que elas apresentaram dependência espacial moderada, concordando com Souza et al. (1997), Salviano et al. (1998) e Takeda (2000).

Quadro 1. Medidas estatísticas descritivas e distribuição de freqüência dos atributos estudados para um Latossolo Vermelho distrófico

Variável	Profundidade de 0,00-0,05 m					
	Média	Variância	C.V. (%)	Assimetria⁽¹⁾	Curtose⁽¹⁾	Distribuição de freqüência⁽²⁾
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)	0,12	$0,16 \times 10^{-4}$	15,99	-0,22	1,17	L
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)	0,34	$4,05 \times 10^{-4}$	5,92	-0,47	3,71	N
Porosidade total ($m^3 m^{-3}$)	0,46	$12,42 \times 10^{-4}$	7,71	0,29	4,09	N
Densidade do solo (kg/dm^3)	1,44	0,01	7,07	0,37	5,28	N
Resistência à penetração do solo (MPa)	2,21	0,39	32,13	0,71	1,01	L
Umidade do solo ($kg kg^{-1}$)	0,17	$0,03 \times 10^{-4}$	6,35	0,06	0,61	↑ L
Profundidade de 0,15-0,20 m						
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)	0,09	$0,07 \times 10^{-4}$	11,66	-0,31	1,22	L
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)	0,35	$2,21 \times 10^{-4}$	4,25	0,18	4,17	N
Porosidade total ($m^3 m^{-3}$)	0,44	$5,67 \times 10^{-4}$	5,37	0,34	3,28	N
Densidade do solo ($kg dm^{-3}$)	1,47	0,05	4,82	-0,17	6,18	N
Resistência à penetração do solo (MPa)	2,57	0,22	20,95	0,43	1,73	L
Umidade do solo ($kg kg^{-1}$)	0,17	$0,02 \times 10^{-4}$	3,87	0,81	0,36	↑ L

⁽¹⁾ Assimetria e Curtose são adimensionais. ⁽²⁾ N = distribuição normal; L = distribuição lognormal; ↑ L = distribuição não definida entre as duas citadas, porém, mais aproximada da lognormal.

Quadro 2. Parâmetros dos modelos (C_0 , C_1 e alcance), grau da variabilidade ($C_0/(C_0 + C_1)$) e indicador do melhor ajuste (IMA) e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico

Atributo	Profundidade de 0,00-0,05 m					
	C_0	C_1	Alcance	$[C_0/(C_0 + C_1)] \times 100$	IMA	Modelo
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)	$10,8 \times 10^{-4}$	$14,2 \times 10^{-4}$	16,20	43,20	4,67E-03	Esférico
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)	$2,1 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$	20,90	52,24	1,38E-02	Esférico
Porosidade Total ($m^3 m^{-3}$)	$5,46 \times 10^{-4}$	$7,54 \times 10^{-4}$	12,30	42,00	4,15E-03	Esférico
Densidade do solo ($kg dm^{-3}$)	0,005	0,006	13,12	45,32	3,24E-03	Esférico
Resistência à Penetração do solo(MPa)	3,24	3,66	41,60	46,96	1,21E-02	Esférico
Umidade do solo ($kg kg^{-1}$)	$3,11 \times 10^{-4}$	-	-	-	7,52E-03	Linear
Profundidade de 0,15-0,20 m						
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)	$3,45 \times 10^{-4}$	$4,72 \times 10^{-4}$	27,20	42,20	4,48E-02	Esférico
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)	$0,95 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$	14,72	41,31	4,36E-03	Esférico
Porosidade Total ($m^3 m^{-3}$)	$2,22 \times 10^{-4}$	$3,88 \times 10^{-4}$	22,40	36,39	8,33E-03	Esférico
Densidade do solo ($kg dm^{-3}$)	1,31	0,0024	22,60	32,57	1,31E-02	Esférico
Resistência à Penetração do solo (MPa)	20,21	41,83	58,80	50,00	5,19E-02	Exponencial
Umidade do solo ($kg kg^{-1}$)	$1,73 \times 10^{-4}$	$4,51 \times 10^{-4}$	8,36	28,94	9,54E-02	Esférico

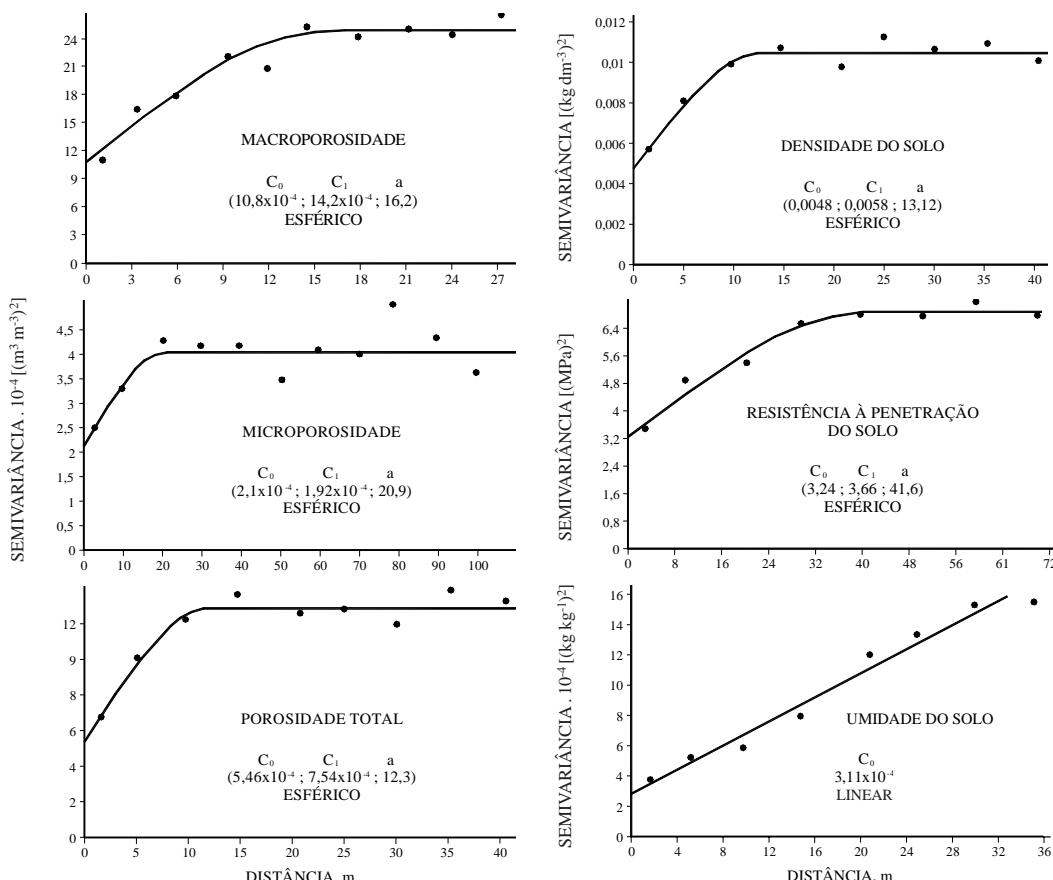


Figura 1. Semivariogramas dos atributos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração do solo e umidade do solo na profundidade de 0,00-0,05 m, em um Latossolo Vermelho distrófico.

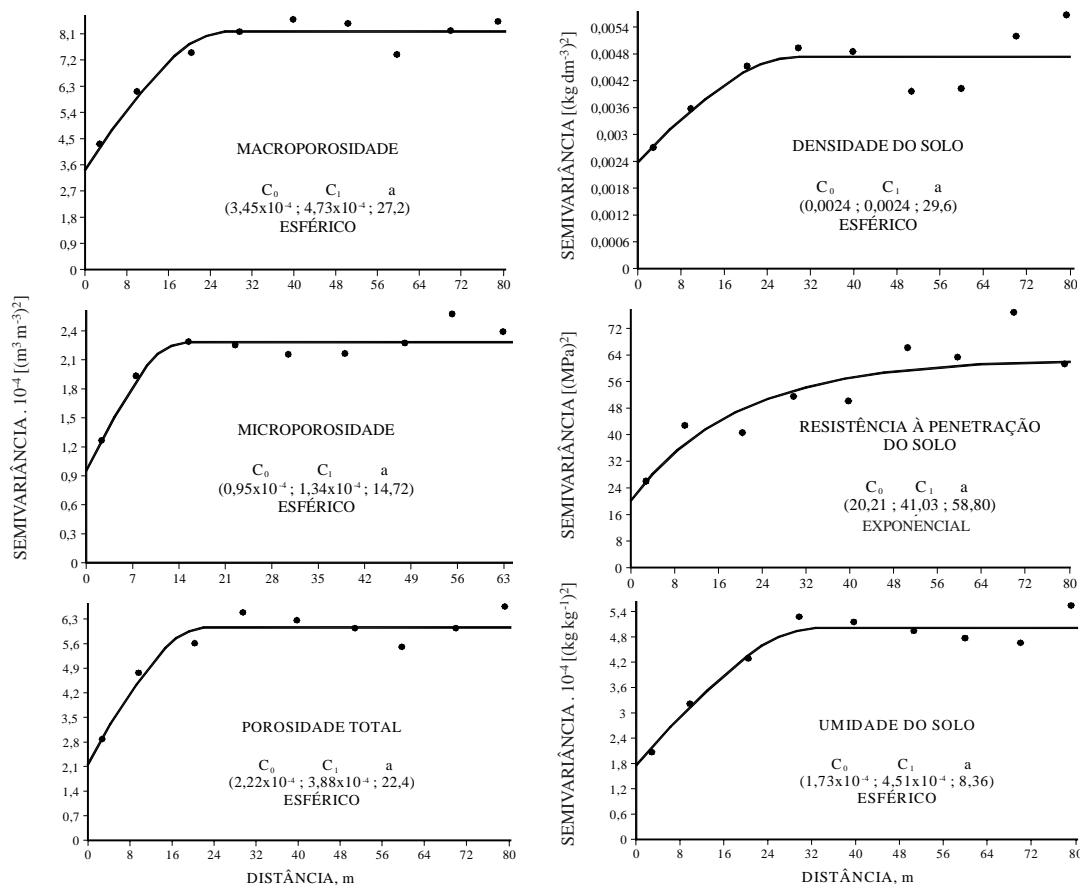


Figura 2. Semivariogramas dos atributos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração do solo e umidade do solo na profundidade e 0,15-0,20 m, em um Latossolo Vermelho distrófico.

O quadro 2 e as figuras 1 e 2 revelam que o alcance da dependência espacial, relacionado em ordem crescente para a profundidade de 0,00-0,05 m, teve os seguintes valores para os atributos físicos do solo: porosidade total, 12,30 m; densidade do solo, 13,12 m; macroporosidade, 16,20 m; microporosidade, 20,90 m, e resistência à penetração de raízes, 41,60 m. Para a profundidade de 0,15-0,20 m, no entanto, o alcance apresentou os seguintes valores: umidade do solo, 8,36 m; microporosidade, 14,72 m; porosidade total, 22,40 m; densidade do solo, 22,60 m; macroporosidade, 27,20 m, e resistência à penetração de raízes 58,80 m.

Estes resultados são importantes para o planejamento experimental da área estudada, devendo ser levados em consideração nas propostas de manejo e pesquisa, assim como na determinação do número de pontos que devem ser amostrados para atingir melhor representatividade. O número mínimo de amostras para compor uma amostra

composta, a fim de estimar o valor da variável de interesse que permita atingir a precisão desejada, poderia ser estimado em função do coeficiente de variação e da variação admitida em torno da média (Souza, 1992), assumindo-se a independência espacial entre as observações e a normalidade dos dados.

Como as análises geoestatísticas revelaram dependência espacial, sugere-se a utilização do alcance destes atributos na realização de futuras amostragens. Segundo McBratney & Webster (1983), o conhecimento do alcance é importante na definição da ótima intensidade de amostragem, visando reduzir o esforço de trabalho e o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra. Por isso, recomendam um intervalo entre pontos amostrais superior ao dobro do alcance da dependência espacial, o que, associado ao número de pontos amostrais estimado pela estatística clássica, permite maximizar a eficiência da amostragem.

CONCLUSÕES

1. A microporosidade, porosidade total e densidade do solo seguiram a distribuição normal, enquanto a macroporosidade e resistência à penetração de raízes seguiram a distribuição lognormal e a umidade do solo uma distribuição mais próxima da lognormal.

2. A variabilidade dos atributos do solo, analisada pelo coeficiente de variação, ficou classificada como: muito alta, para a resistência do solo à penetração de raízes na profundidade de 0,00-0,05 m; alta, para a resistência à penetração de raízes na profundidade de 0,15-0,20 m; média, para a macroporosidade em ambas as profundidades estudadas, e baixa, para a umidade do solo, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas duas profundidades estudadas.

3. A análise dos semivariogramas mostrou que todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial moderada.

4. A porosidade total, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração de raízes apresentaram, respectivamente, os alcances de 12,30, 13,12, 16,20, 20,90 e 41,60 m, na profundidade de 0,00-0,05 m, enquanto, na profundidade de 0,15-0,20 m, os alcances para a umidade do solo, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, macroporosidade e resistência à penetração de raízes foram, respectivamente, de 8,36, 14,72, 22,40, 22,60, 27,20 e 58,80 m.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FLORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:115-119, 1995.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:139-145, 1994.
- BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. *Soil Sci.*, 126:269-279, 1978.
- BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A. & DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:35-43, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICKZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. Aggregate-protected and unprotected pools of organic matter in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:787-795, 1994.
- BRUS, D. Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil. Wageningen, Agricultural University 1993. 211p. (Tese de Doutorado)
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; LIER, Q.J.V. & BADELUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:923-931, 1999.
- CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1407-1413, 1991.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:527-538, 1998.
- CAVALCANTE, E.G.S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes condições de uso e manejo. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 1999. 199p. (Tese de Mestrado)
- CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:997-1003, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1979. não paginado.
- FORSYTHE, W.M. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarlas en su manejo. Turrialba, 20:445-451, 1970.
- FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARROUY, M.C.L. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:157-170, 2000.
- GOMES, F.P.A. Estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba, POTAFOS, 1984. 160p.
- JOURNEL, A.J. & HUIJBREGTS, C.J. Mining geoestatistics. London: Academic Press, 1978.
- KLEIN, V.A & BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejo do solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. *Ci. Rural*, 25:395-398, 1995.
- LUCARELLI, J.R.F. Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1997. 87p. (Tese de Mestrado)

- MAcBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Sci.*, 135:177-183, 1983.
- MARKUS, R. Elementos de estatística aplicada. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1974. 329p.
- MELO FILHO, J.F. & SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:291-297, 1993.
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42:215-259, 1973.
- OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. Variabilidade das características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de Oxisol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1974. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.359-376.
- OVALLES, F. & REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agron. Trop.*, 44:41-65, 1994.
- PANNATIER, Y. Variowin: software for spatial data analysis in 2D. New York, Speinger, 1996. 91p.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-plantas-atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:1-6, 1986.
- RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Convênio FUNDACEP/BASF. Cruz Alta, FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134p.
- SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; BORGES, E.P. & PAIVA, C. Avaliação do sistema de plantio direto na sucessão de soja sobre pastagem de braquiária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1816-1818.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:115-122, 1998.
- SANCHEZ, R.B. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de Latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1999. 79p. (Trabalho de Graduação)
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:287-291, 1997.
- SOUZA, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. (Tese de Doutorado)
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:367-372, 1997.
- SOUZA, Z.M. Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2000. 127p. (Tese de Mestrado)
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:229-235, 1991.
- TAKEDA, E.Y. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob videira (*Vitis vinifera* - L) em Vitória Brasil (SP). Ilha Solteira, Universidade Estadual de São Paulo, 2000. 79p. (Tese de Mestrado)
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:45-94, 1985.
- UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, W.J. Statistical procedures for specific objectives. In: SPATIAL of soils and landforms. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.49-71. (Special Publication, 28)
- VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). *Bragantia*, 56:181-190, 1997.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75, 1983.
- WEBSTER, R. & OLIVIER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford, Oxford University Press, 1990. 316p.

