

Variabilidade espacial de atributos físicos em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul

Morel de Passos e Carvalho¹, Rogério Peres Soratto² e Onã da Silva Freddi³

¹Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil, 56, Centro, C.P. 31, 15.385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. ²Curso de Pós-Graduação em Agronomia. ³Engenheiro Agrônomo. *Autor para correspondência. e-mail: morel@agr.feis.unesp.br

RESUMO. O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia/Unesp-Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, (20° 22' S; 51° 22' W). Seu objetivo foi estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, estabelecido sob preparo convencional e cultivado com o feijoeiro comum durante o ano agrícola de 1999/2000, visando-se fornecer subsídios para o planejamento da sua área agrícola experimental. Os atributos estudados foram macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), resistência à penetração (RP) e umidade do solo (UG). A coleta dos dados foi efetuada com os pontos amostrais dispostos segundo uma malha com 103 pontos nas profundidades de zero a 0,05 m (superfície) e 0,15 a 0,20 m (sub-superfície). Foi efetuada uma análise estatística descritiva inicial dos dados, caracterizando-se a média, variância, coeficientes de variação, assimetria e curtose e a distribuição de frequência. Verificou-se a estrutura da dependência espacial dos dados através do semivariograma. Os resultados revelaram que a variabilidade pesquisada foi: a) muito alta para a RP em ambas as profundidades, e para a MA na sub-superfície; b) alta apenas para a MA na superfície; c) média para a UG em ambas profundidades, e d) baixa para a MI, PT e DS em ambas profundidades. Todos os atributos do solo apresentaram dependência espacial, com exceção da MI na superfície. Desta forma, na camada superficial a PT, DS, RP, MA e UG tiveram respectivamente os alcances de 8,6; 13,1; 15,2; 15,8 e 18,4 m. Já na sub-superfície a DS, UG, RP, MI, MA e PT tiveram respectivamente os alcances de 1,0; 9,1; 14,4; 18,4; 19,2 e 23,7 m.

Palavras-chave: distribuição de frequência, geoestatística, coeficiente de variação, semivariogramas, dependência espacial, atributos físicos do solo.

ABSTRACT. *Spatial variability of physical characteristics of dystrophic red latosol under conventional tillage at Selvíria (MS).* The research was conducted at the Experimental Station of UNESP-Ilha Solteira-campus, located in Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil (20° 22'S; 51° 22'W). The objective was to study the spatial variability of some physical characteristics of a Dystrophic Red Latosol under conventional tillage with bean crop, in the 1999/2000 agricultural year, aiming at providing subsidy for agricultural research planning. The soil characteristics studied were: macroporosity (MA), microporosity (MI), total porosity (TP), bulk density (BD), penetration resistance (PR), and soil moisture (SM). The grid sampling was a total of 103 points, and the soil depths used to obtain the soil samples were zero to 0.05 m (surface) and 0.15 to 0.20 m (subsurface). Initial descriptive analysis of data was made through characterization of average, variance, coefficient of variation, coefficients of skewed and kurtosis, and frequency distribution. Subsequently, the spatial dependence was verified through the semivariogram. The results indicated that the variability of the soil characteristics were: a) very high for PR in both depths, and for MA at subsurface; b) high only for MA at surface; c) intermediate for SM in both depths, and d) low for MI, TP, and BD in both depths. All characteristics studied showed spatial dependence, except for the MI in the surface. Therefore, in the surface layer the TP, BD, PR, MA, and SM showed the reaches, respectively, of 8.6, 13.1, 15.2, 15.8, and 18.4 m, whereas in the subsurface layer the BD, SM, PR, MI, MA, and TP showed, respectively, the reaches of 1.0, 9.1, 14.4, 18.4, 19.2, and 23.7 m.

Key words: frequency distribution, geostatistic, variation coefficient, semivariogram, spatial dependence, soil physical characteristics.

Introdução

Em uma paisagem natural, as classes de solos apresentam heterogeneidade, tanto no sentido espacial (superfície) como no tridimensional (volumétrico), resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação. Em condições de campo, quando é considerado o levantamento e a classificação de tais classes, a única heterogeneidade considerada é na direção da profundidade, segundo uma coordenada *z*, diferenciando-se camadas ou horizontes com diferentes propriedades (Reichardt *et al.*, 1986). Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória. Entretanto, vários estudos relataram que a variabilidade das propriedades químicas e físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Reichardt, 1985; Upchurch e Edmonds, 1991; Souza, 1992).

Os distintos tipos de distribuição, para o mesmo atributo do solo, resultam-se das diferenças no nível e na forma da sua variabilidade. Segundo Markus (1974), o conhecimento da distribuição de frequência dos dados de uma variável tem importantes conseqüências práticas, já que os métodos de análise são diferentes para dados que seguem diferentes distribuições de frequência. Deve-se também lembrar que a análise da variância e os testes de significância normalmente usados em estatística (*F*, *t*, Tukey, etc.) pressupõem ou baseiam-se na distribuição normal. Assim, dados que seguem uma distribuição diferente da normal devem ser transformados antes da aplicação da análise da variância (Gomes, 1984); no caso da distribuição lognormal, os dados devem ser transformados nos seus logaritmos. Desta forma, Souza (1992), avaliando a variabilidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, observou uma distribuição lognormal para o fósforo (*P*) e potássio (*K*), e normal para a matéria orgânica, umidade e argila. Já Nielsen *et al.* (1973) observaram uma distribuição normal para a areia, argila e umidade do solo, e uma distribuição muito irregular e diferente da normal para o silte; por sua vez, Babalola (1978) encontrou uma distribuição normal para a areia, silte e umidade.

Uma propriedade intrínseca do solo é a heterogeneidade. Assim, uma paisagem natural ou cultivada apresentará, de acordo com o uso e o manejo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, uma maior ou menor heterogeneidade, acarretando maior elasticidade à sua variabilidade (Forsythe, 1970). É esperado que o tamanho da área a ser amostrada contribua para evidenciar sua heterogeneidade, concorrendo para definir a

variabilidade espacial dos seus atributos, definindo, assim, condições para o seu correto manejo. O solo, quando cultivado, recebe fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente do efeito antrópico da agricultura (Beckett e Webster, 1971). O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas onde ele está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativas, não só para reduzir os efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas (Trangmar *et al.*, 1985), como também, para aumentar a possibilidade de se estimar respostas em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles e Rey, 1994). Além disso, a eficácia da estratégia de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (Brus, 1993). A estatística clássica permite a descrição de um atributo sem considerar a posição espacial do local da coleta. Como o preparo do solo não é uniforme em toda área, torna-se importante avaliar também a distribuição espacial destes atributos. Desta forma, a geoestatística tem por base a verificação da condição de existência da variabilidade espacial através do semivariograma (Vieira e Lombardi Neto, 1995), permitindo, assim, a descrição da dependência espacial de tais atributos (Webster e Olivier, 1990).

A importância prática da geoestatística relaciona, entre outros, o seguinte: a) a determinação da dimensão da parcela experimental de campo, dada pelo poder de alcance do semivariograma; b) a estimativa de um atributo do solo de difícil determinação, a partir de outro qualquer cuja determinação seja fácil, através do semivariograma cruzado ou cokrigagem, e c) obtenção de mapas de interpolação dos atributos a serem utilizados na agricultura de precisão. Portanto, o objetivo do presente trabalho, realizado em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, cultivado sob preparo convencional, pertencente à Faculdade de Engenharia - Unesp do Campus de Ilha Solteira, localizado no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, foi o de se estudar a distribuição de frequência, a variabilidade e a dependência espacial de alguns atributos físicos do solo, com o auxílio da geoestatística para análise dos dados, visando-se fornecer subsídios para o planejamento de futuros experimentos agronômicos nesta área.

Material e métodos

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Unesp do Campus de Ilha Solteira, situada no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do

Sul. A localização da área fica nas coordenadas geográficas de 20° 22' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste, encontrando-se nas proximidades do rio Paraná, numa altitude média de 335 m. Através do levantamento detalhado do solo efetuado por Demattê (1980), assim como utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), o solo trabalhado foi um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido (LVd)¹. O clima da região foi classificado segundo Köpen como Aw, apresentando chuvas no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1.300 mm distribuída entre outubro e março, e temperatura média anual de 23,5°C.

A malha de amostragem dos atributos físicos do solo estudados foi situada numa área de sistema de preparo convencional, trabalhado com arado de disco e grade leve, após colheita da cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (Leguminosae-Faboideae), apresentando 40 m de largura e 160 m de comprimento, com uma área total de 6.400 m². Esta malha, estabelecida com 103 pontos amostrais, contituiu-se de uma malha principal (4 linhas x 16 colunas) com os referidos pontos espaçados em 10m. Entre 4 pontos amostrais desta malha principal foram instaladas inteiramente ao acaso, mais 3 malhas secundárias com 13 pontos cada, sendo também tais pontos sorteados ao acaso e instalados com o espaçamento mínimo de 1m de distância entre eles. O objetivo da alocação destas 3 malhas secundárias foi o de detalhar a análise da dependência espacial dos atributos. Para cada ponto foram coletadas amostras do solo nas profundidades de zero a 0,05 m (superfície) e de 0,15 a 0,20 m (subsuperfície), em setembro de 1999.

A metodologia de determinação dos atributos físicos do solo foi a seguinte: (a) macroporosidade, microporosidade e porosidade total, com amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos com capacidade de 10⁻⁴ . m³, e o método empregado para esta determinação foi o da mesa de tensão, segundo Embrapa (1979); (b) densidade do solo: através das mesmas amostras coletadas para caracterizar a porosidade, determinou-se a densidade do solo, usando o método da Embrapa (1979); (c) a umidade gravimétrica do solo foi avaliada pelo método da Embrapa (1979) e (d) na mesma época foi avaliada a resistência mecânica à penetração, usando-se um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar.

A expressão que permitiu os cálculos foi a seguinte, conforme Stolf (1991).

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

onde: **RMP** é a resistência mecânica do solo à penetração (MPa); **N** é o número de impactos efetuados para a obtenção de leitura, e **A** e **P** são respectivamente as leituras antes e após a realização dos impactos (cm).

Esta área vem sendo utilizada a oito anos, com sistema de preparo convencional do solo, sendo irrigada com pivô central. A sucessão/rotação das culturas tem, no geral, obedecido a escolha de leguminosas e gramíneas, tais como feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merrill), aveia preta (*Avena strigosa schiels* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* L.). O manejo das plantas invasoras foi efetuado com herbicidas e cultivos mecânicos.

A variabilidade do solo foi inicialmente avaliada através da análise estatística descritiva dos dados, calculando-se a média, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. Tal análise foi realizada através do programa SAS (Schlotzhaver e Littell, 1997).

A análise de dependência espacial foi feita através da geoestatística, conforme Vieira *et al.* (1983) e Pannatier (1996), por meio de semivariogramas. A análise geoestatística é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes entre si do que aquelas separadas por distâncias maiores. O semivariograma constitui-se no instrumento que mede estas semelhanças, mostrando se há ou não autocorrelação espacial. O semivariograma é, por definição, dado pela seguinte expressão:

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

Podendo ser estimado através de:

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

Onde: **N(h)** é o número de pares de valores medidos **Z(x₁)**, **Z(x₁ + h)**, separados por um vetor **h**. O gráfico de **γ* (h)** versus os valores correspondentes de **h**, chamado semivariograma, é uma função do vetor **h** e, portanto, depende de ambos, da magnitude e da direção **h**. Desta forma, não foi analisada qualquer tendência anisotrópica dos dados, aos quais foram ajustados os

¹ Carvalho, M.P. Comunicação pessoal. 2000. (Depto de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia - Feis/Unesp, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil)

semivariogramas, trabalhando-se, portanto, com o semivariograma médio.

Os semivariogramas experimentais foram estimados com base no melhor modelo ajustado, para todos os atributos estudados e para as profundidades analisadas. O indicativo de eficiência do ajuste (IGF) foi calculado pelo programa Variowin 2.2, conforme Pannatier (1996), representando um número sem unidades, sendo que um valor próximo de zero indica um bom ajuste. Também, foi determinado o tipo de distribuição de frequência dos dados entre os seguintes modelos: normal, lognormal, tendendo ao tipo normal, e tendendo ao tipo lognormal, através do SAS (Schlotzhaver e Littell, 1997). Neste programa, a hipótese de normalidade (ou de lognormalidade) dos dados é efetuada através do teste W de Shapiro e Wilk (1965). Desta forma, a estatística W testa a hipótese nula de que a amostra é proveniente de uma população de distribuição normal. Assim, no caso da transformação dos dados na forma logarítmica ($y = \ln x$), W testa a hipótese nula de que os valores y_i provêm de uma distribuição normal, isto é, os dados não transformados (x_i) ajustam-se a uma distribuição lognormal.

O ajuste do modelo do semivariograma, para definição dos seus parâmetros, foi feito pelo processo de tentativa e erro. Desta forma, a análise da dependência espacial dos atributos estudados foi efetuada através do programa Variowin 2.2 (Pannatier, 1996).

Resultados e discussão

A distribuição de frequência do tipo normal, isto é, aquela simétrica e de difícil ocorrência na prática, possui o mesmo valor para a média aritmética, moda e mediana. O valor do seu coeficiente de assimetria é zero, enquanto que o de curtose é três. Entretanto, quando o conjunto de dados não possui uma distribuição de frequência rigorosamente simétrica, considera-se esta assimetria como fraca, quando tal coeficiente variar entre +0,20 e -0,20 (Snedecor e Cochran, 1967; Castro, 1967; Spiegel, 1985). A Tabela 1 apresenta as medidas estatísticas descritivas (média, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose) e a distribuição de frequência de alguns atributos físicos do solo estudado.

Na profundidade de zero a 0,05 m, os atributos macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e umidade do solo apresentaram distribuição de frequência do tipo lognormal, ao passo que a porosidade total e a densidade do solo apresentaram uma distribuição do tipo normal. Já na profundidade de 0,15 a 0,20 m, os atributos

macroporosidade, microporosidade, densidade e umidade do solo apresentaram distribuição de frequência do tipo lognormal, enquanto que a porosidade total e a resistência à penetração tiveram distribuição do tipo normal. Souza (1992), avaliando a variabilidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, também observou uma distribuição lognormal para a umidade. Segundo Salviano *et al.* (1998), a camada superficial do solo é mais afetada pelo processo de revolvimento causado pela sua mecanização, pelo manejo, assim como também pelo manejo das culturas e a inevitável erosão. Desta forma, pela característica dos dados apresentados, não houve concordância entre os resultados obtidos pelo presente trabalho e aqueles descritos na literatura.

O coeficiente de variação é uma medida adimensional e pode ser usado para comparar e avaliar a variabilidade entre duas variáveis. O coeficiente de variação apresenta a precisão do experimento, sendo que os valores precisos estão classificados como baixos (inferiores a 10%), médios (quando de 10% a 20%), altos (quando de 20% a 30%), muito altos (superiores a 30%). Entretanto, dados de análises de solo comumente apresentam seus valores altos e muito altos, especialmente nos casos de solos muito pobres, como os de cerrado (Gomes, 1984; Spiegel, 1985). Assim sendo, na Tabela 1, o menor coeficiente de variação foi de 4,37%, para a microporosidade, na profundidade de 0,15 a 0,20 m, assim como o maior foi de 109,54%, para a resistência à penetração na profundidade de zero a 0,05 m. Adotando-se o critério de classificação proposto por Gomes (1984), para análise desta medida estatística de dispersão, seus valores revelaram-se como: a) muito altos para a resistência à penetração nas duas profundidades estudadas e para a macroporosidade na profundidade de 0,15 a 0,20 m; b) alto apenas para a macroporosidade na profundidade de zero a 0,05 m; c) médio para a umidade do solo nas duas profundidades estudadas, concordando com Souza *et al.* (1997) e baixo para a microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em ambas as profundidades de estudo. Observou-se que a maioria dos atributos avaliados apresentou coeficientes de variação abaixo de 10%, valor considerado baixo, o que lhes confere baixa variabilidade. Apesar dos coeficientes de variação permitirem a comparação da variabilidade entre amostras de unidades diferentes, o seu emprego não deve ser generalizado, devendo-se apreciar esses resultados frente às finalidades a que se destina o trabalho (Oliveira e Menk, 1974).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros dos modelos e o indicativo da eficiência do ajuste (IGF) dos

semivariogramas ajustados para os atributos físicos do solo estudado. As Figuras 1 e 2 ilustram tais semivariogramas.

O efeito pepita constitui-se numa medida importante do semivariograma e indica a variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medida e microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella *et al.*, 1994), e pode ser expresso como percentagem do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, formalmente chamado de indicativo da dependência espacial (IDE) e dado por $((C_0/C_0+C_1).100)$, conforme Trangmar *et al.* (1985). Para analisar o grau de dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um IDE $\leq 25\%$ do patamar; de dependência espacial moderada, quando o IDE está entre 25 e 75%, e dependência fraca, quando o IDE é $> 75\%$. A análise do efeito pepita mostrou que, na profundidade de zero a 0,05 m, as variáveis macroporosidade, porosidade total, resistência mecânica à penetração e umidade apresentaram moderada dependência espacial, concordando com Souza *et al.* (1997), Salviano *et al.* (1998) e Takeda (2000). A densidade do solo apresentou forte dependência, ressaltando-se que, neste caso, apenas a microporosidade apresentou efeito pepita puro. Por outro lado, na profundidade de 0,15 a 0,20 m, a variável densidade do solo apresentou fraca dependência espacial, a macroporosidade, microporosidade e porosidade total apresentaram moderada dependência, e a resistência mecânica à penetração e a umidade apresentaram forte dependência espacial.

O alcance da dependência espacial é outro parâmetro importante no estudo do semivariograma, significando a distância máxima dentro da qual uma determinada

variável está correlacionada espacialmente. Dessa forma, seu valor garante que todos os vizinhos, situados dentro de um círculo cujo raio é dado pela sua magnitude, sejam tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores de tal variável, que estejam em qualquer outro ponto dentro do seu domínio (Vieira e Lombardi Neto, 1995). Por outro lado, McBratney e Webster (1983), afirmaram que o conhecimento do alcance é importante para a determinação do número ótimo de amostragem do solo para fins de fertilidade, visando-se reduzir o esforço de trabalho e o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra. Nesse sentido, tais autores recomendaram um intervalo entre pontos amostrais superior ao dobro do alcance da dependência espacial, o que, associado ao número de pontos amostrais, normalmente estimado pela estatística clássica, permite maximizar a eficiência da amostragem. A Tabela 2 e as Figuras 1 e 2 revelaram que os alcances da dependência espacial, determinados para os atributos estudados, variaram de 1,00m (densidade do solo) a 23,7m (porosidade total), ambos na profundidade de 0,15 a 0,20 m, que correspondem ao raio da área considerada homogênea para cada variável analisada. Estes resultados são importantes para o planejamento experimental da área estudada e devem ser levados em consideração em termos de proposta para o seu manejo e pesquisa, assim como na determinação do número de pontos que devem ser amostrados para se obter uma melhor representatividade. O número mínimo de amostras simples que deve compor uma amostra composta, para estimar o valor de uma variável de interesse, com uma determinada precisão, poderia ser estimado em função do coeficiente de variação, que, na prática, discrimina a variabilidade dos dados em torno da média, assumindo-se haver independência espacial entre as observações e a normalidade dos dados (Souza, 1992).

Tabela 1. Medidas estatísticas descritivas e distribuição de freqüência dos atributos físicos estudados para um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob sistema de preparo convencional em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul

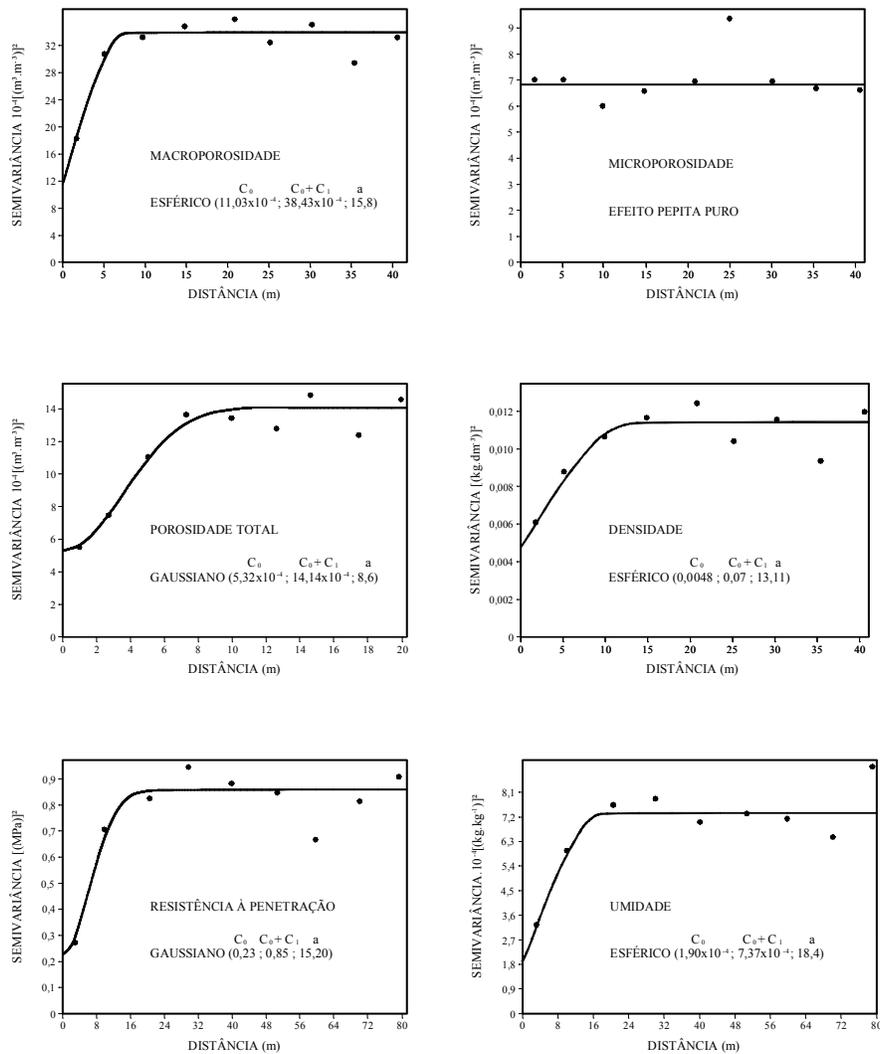
Variável	Média	Variância	C.V.(%)	Assimetria ⁽¹⁾	Curtose ⁽¹⁾	Distribuição de freqüência ⁽²⁾
Profundidade de zero a 0,05 m						
Macroporosidade (m ³ . m ⁻³)	0,23	34,10	25,76	-1,0	0,91	L
Microporosidade (m ³ . m ⁻³)	0,32	7,07	8,26	0,36	-0,39	L
Porosidade total (m ³ . m ⁻³)	0,55	14,06	6,83	-1,39	2,09	N
Densidade do solo (kg. dm ⁻³)	1,19	0,01	9,07	0,92	0,63	N
Resistência à penetração (MPa)	0,91	1,00	109,54	2,95	8,48	L
Umidade do solo (kg. kg ⁻¹)	0,17	7,61	15,89	0,44	-0,38	L
Profundidade de 0,15 a 0,20 m						
Macroporosidade (m ³ . m ⁻³)	0,10	13,24	36,38	1,26	2,59	L
Microporosidade (m ³ . m ⁻³)	0,36	2,46	4,37	-0,38	1,71	L
Porosidade total (m ³ . m ⁻³)	0,46	10,75	4,12	0,64	1,15	N
Densidade do solo (kg. dm ⁻³)	1,42	0,0072	5,94	-0,69	0,78	L
Resistência à penetração (MPa)	5,11	6,91	51,52	0,81	0,22	N
Umidade do solo (kg. kg ⁻¹)	0,19	9,12	15,95	-0,49	0,27	L

⁽¹⁾Assimetria e curtose são adimensionais. ⁽²⁾ N = distribuição normal; L = distribuição lognormal

Tabela 2. Parâmetros dos modelos e indicativo da eficiência do ajuste dos semivariogramas ajustados aos atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob sistema de preparo convencional em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul

Atributos	Profundidade de zero a 0,05 m					Modelo
	C_0	C_1	Alcance	$[C_0/C_0+C_1] \times 100^{(1)}$	IGF ⁽²⁾	
Macroporosidade ($m^3 \cdot m^{-3}$)	$11,03 \times 10^{-4}$	$27,4 \times 10^{-4}$	15,8	29	$4,28 \times 10^{-2}$	Esférico
Microporosidade ($m^3 \cdot m^{-3}$)				Efeito pipeta puro		
Porosidade total ($m^3 \cdot m^{-3}$)	$5,32 \times 10^{-4}$	$8,82 \times 10^{-4}$	8,6	38	$3,88 \times 10^{-2}$	Gaussiano
Densidade do solo ($kg \cdot dm^{-3}$)	0,0048	0,0700	13,1	6	$8,02 \times 10^{-3}$	Esférico
Resistência à penetração (MPa)	0,23	0,62	15,2	27	$1,04 \times 10^{-2}$	Gaussiano
Umidade do solo ($kg \cdot kg^{-1}$)	$1,90 \times 10^{-4}$	$5,47 \times 10^{-4}$	18,4	26	$8,32 \times 10^{-2}$	Esférico
Profundidade de 0,15 a 0,20 m						
Macroporosidade ($m^3 \cdot m^{-3}$)	$5,03 \times 10^{-4}$	$8,12 \times 10^{-4}$	19,2	38	$6,32 \times 10^{-3}$	Esférico
Microporosidade ($m^3 \cdot m^{-3}$)	$1,12 \times 10^{-4}$	$1,36 \times 10^{-4}$	18,4	45	$2,39 \times 10^{-3}$	Esférico
Porosidade total ($m^3 \cdot m^{-3}$)	$6,05 \times 10^{-4}$	$8,18 \times 10^{-4}$	23,7	43	$4,78 \times 10^{-3}$	Gaussiano
Densidade do solo ($kg \cdot dm^{-3}$)	0,0048	0,0012	1,0	80	$2,14 \times 10^{-2}$	Potencial
Resistência à penetração (MPa)	0,76	6,90	14,4	10	$1,00 \times 10^{-2}$	Gaussiano
Umidade do solo ($kg \cdot kg^{-1}$)	$1,27 \times 10^{-4}$	$5,40 \times 10^{-4}$	9,1	19	$4,92 \times 10^{-2}$	Gaussiano

⁽¹⁾ $C_0 + C_1$ representa o patamar do semivariograma; ⁽²⁾ IGF, Indicativo de eficiência do ajuste

**Figura 1.** Semivariogramas dos atributos macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, e resistência à penetração do solo e umidade na profundidade de zero a 0,05 m, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob preparo convencional, em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul

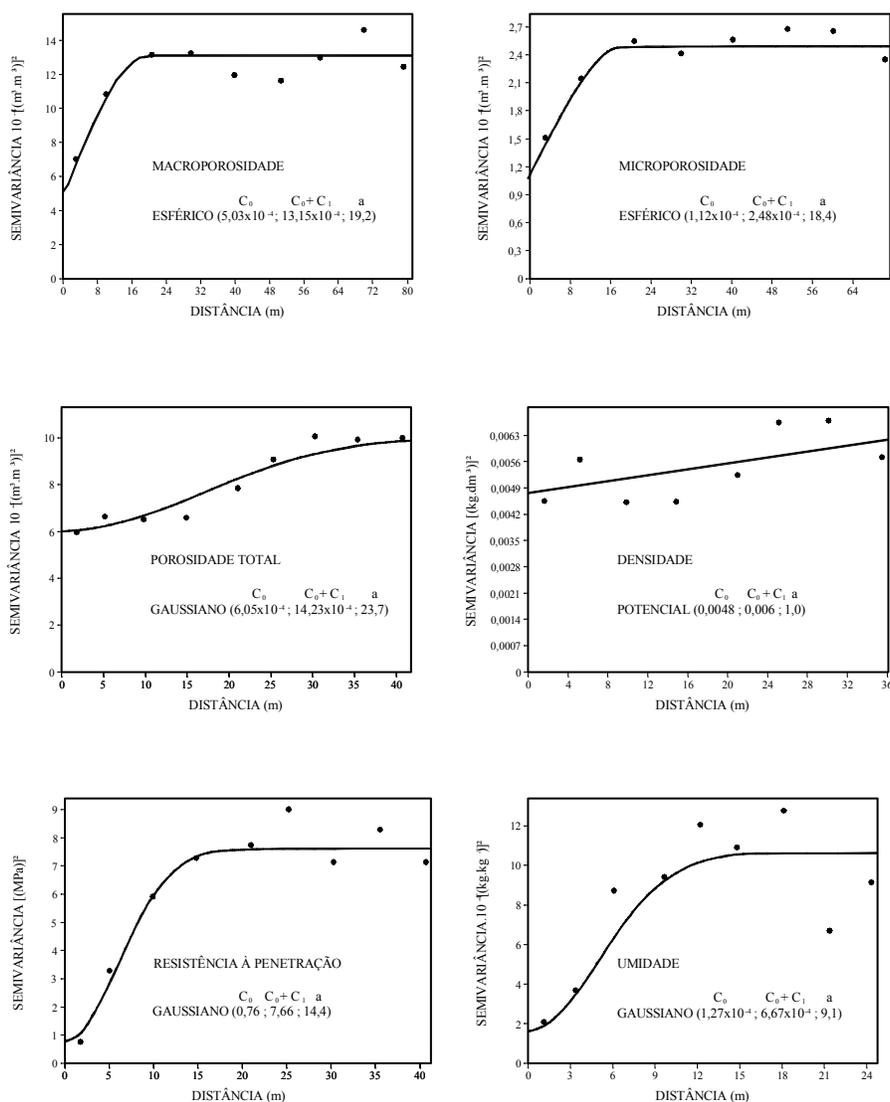


Figura 2. Semivariogramas dos atributos macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, e resistência à penetração do solo e umidade na profundidade de 0,15 a 0,20 m, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob preparo convencional, em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul

Como as análises geostatísticas revelaram a existência de dependência espacial, na maioria dos casos, fica sugerida a utilização do alcance destes atributos na realização de futuras amostragens do solo, assim como, sugestão de diretrizes às práticas conservacionistas que futuramente envolvam o seu manejo. Como exemplo, na Tabela 2, pode-se observar que a macroporosidade apresentou alcances entre 15,8 e 19,2 m. Trabalhando-se com seu maior valor (19,2 m) e sabendo-se que locais do solo com valores de macroporosidade abaixo de 0,10 m³/m³ devem ser descompactados, pode-se concluir que a

necessidade de descompactação de tais locais deve ser efetuada num círculo de diâmetro igual a 38,4 m, isto é, valor representando o dobro do alcance.

Através da análise dos semivariogramas (Figuras 1 e 2), constatou-se que todas as variáveis estudadas mostraram dependência espacial, exceto para a microporosidade na camada superficial, a qual apresentou efeito pepita puro, indicando, segundo Cambardella *et al.*, (1994), uma variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medida e microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada. Todos os

semivariogramas se ajustaram bem aos modelos esféricos ou gaussianos, exceção feita para densidade do solo na profundidade de 0,15 a 0,20 m, que se ajustou ao modelo potencial.

Nas condições da presente pesquisa pôde-se concluir: 1) Na profundidade de zero a 0,05 m, as variáveis porosidade total e densidade do solo seguiram a distribuição normal, ao passo que a macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e umidade seguiram a distribuição lognormal. Já para a profundidade de 0,15 a 0,20 m, a porosidade total e a resistência à penetração seguiram a distribuição normal, enquanto que a macroporosidade, microporosidade, a densidade do solo e umidade apresentaram uma distribuição lognormal; 2) A variabilidade dos atributos do solo, analisada pelo coeficiente de variação, ficou classificada como: a) muito alta, para a resistência à penetração nas duas profundidades estudadas e para a macroporosidade na subsuperfície; b) alta, apenas para a macroporosidade na superfície; c) média, para a umidade do solo nas duas profundidades, e d) baixa, para a microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em ambas profundidades; 3) Todos os atributos do solo apresentaram dependência espacial, ajustando-se aos modelos esférico ou gaussiano, com exceção da microporosidade, na camada superficial, que não apresentou dependência espacial e da densidade do solo na subsuperfície, que se ajustou ao modelo potencial, e 4) Os atributos porosidade total, densidade, resistência mecânica à penetração, macroporosidade e umidade do solo tiveram respectivamente os seguintes alcances: 8,6 m; 13,1 m; 15,2 m; 15,8 m e 18,4 m na profundidade de zero a 0,05 m, ao passo que a microporosidade apresentou efeito pepita puro. Já na profundidade de 0,15 a 0,20 m, a densidade do solo, umidade, resistência à penetração, microporosidade, macroporosidade e porosidade total tiveram os seguintes alcances: 1,0 m; 9,1 m; 14,4 m; 18,4 m; 19,2 m e 23,7 m, respectivamente.

Referências

- BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. *Soil Sci.*, Baltimore, v.126, n.2, p.269-279, 1978.
- BECKETT, P. H. T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. *Soil Fertility*, Toronto, v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- BRUS, D. *Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil*. 1993. Tese (Doutorado) - Agricultural University, Wageningen, 1993.
- CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CASTRO, L. S. V. *Pontos de estatística*. Rio de Janeiro: Científica, 1967.
- DEMATTÊ, J. L. I. *Levantamento detalhado dos solos do "Campus experimental de Ilha Solteira"*. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade. Esalq/USP, 1980.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1979.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, 1999.
- FORSYTHE, W.M. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarles en su manejo. *Turrialba*, San Jose, v.20, n.4, p.445-451, 1970.
- GOMES, F. P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba: POTAFOS, 1984.
- MARKUS, R. *Elementos de estatística aplicada*. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1974.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Sci.*, Baltimore, v.135, n.3, p.177-183, 1983.
- NIELSEN, D. R. *et al.* Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.42, n.2, p.215-259, 1973.
- OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F. Variabilidade das características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de Oxisolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, 1974, Santa Maria. *Anais...* Campinas: SBCS, 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.*, Maracay, v.44, p.41-65, 1994.
- PANNATIER, Y. *Variowin: software for spatial data analysis in 2D*. New York: Springer, 1996.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- REICHARDT, K. *et al.* Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.10, n.1, p.1-6, 1986.
- SALVIANO, A. A. C. *et al.* Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.22, n1, p.115-122, 1998.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. *SAS: system for elementary statistical analysis*. 2. ed. Cory: SAS, 1997.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, London, v. 52, p.591-611, 1965
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. *Statistical methods*. 6 ed. Ames: Iowa State University, 1967.

- SOUZA, L. S. *Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo*. 1992. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- SOUZA, L. S. *et al.* Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
- SPIEGEL, M. R. *Estatística*. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo, *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 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)*. 2000. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- TRANGMAR, B. B. *et al.* Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.
- UPCHURCH, D. R.; EDMONDS, W. J. Statistical procedures for specific objectives. In: Spatial of soils and landforms. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, n.28, p.49-71, 1991.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial de potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.54, n.2, p.405-412, 1995.
- VIEIRA, S. R. *et al.* Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- WEBSTER, R.; OLIVIER, M. A. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press, 1990.

Received on October 04, 2002.

Accepted on September 06, 2002.