

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS DE SOLOS NA REGIÃO DO PLANALTO MÉDIO, RS: II. ANÁLISE DA SEMIVARIÂNCIA E DA VARIÂNCIA⁽¹⁾

M.v.d. BERG⁽²⁾ & E. KLAMT⁽³⁾

RESUMO

A variabilidade espacial das características de solos da região do Planalto Médio (RS) foi estudada em seis glebas cultivadas com soja, por meio das análises da semivariância e da variância, em amostragem sistemática, para confirmar e detalhar resultados obtidos por análise da variância por amostragem aninhada; estimar a variância nas características dentro de unidades de mapeamento de solos e a extensão do uso de mapas de solos para avaliação de terras. O trabalho de campo foi realizado de dezembro de 1989 a março de 1990. Os resultados confirmam que características de solos dependentes de processos pedogenéticos mostram interdependência espacial de 500 m ou mais, porém a variância de características afetadas pelo manejo persistirá em espaçamentos menores. Outrossim, que qualidades da terra, como disponibilidade de nutrientes, não podem ser extraídas apenas de mapas de solos e que métodos alternativos de amostragem devem ser testados para amenizar o efeito negativo da variância de características a curtas distâncias na qualidade de mapas pedológicos.

Termos de indexação: amostragem sistemática, análise da semivariância, caracterização de solos, qualidade de terras.

SUMMARY: *SPATIAL VARIABILITY OF SOIL CHARACTERISTICS IN THE PLANALTO MÉDIO REGION, STATE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL: II. ANALYSIS OF SEMIVARIANCE AND ANALYSIS OF VARIANCE*

The spatial variability of soil characteristics in the Planalto Médio region, State of Rio Grande do Sul, Brazil, was studied in six areas cultivated with soybean. Semivariance and variance analyses were applied to the data obtained by systematic soil sampling to confirm and

⁽¹⁾ Parte da tese de doutorado do primeiro autor, a ser apresentada na Utrecht University, Holanda. Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em julho 1995. Viçosa, MG. Recebido para publicação em fevereiro de 1996 e aprovado em março de 1997.

⁽²⁾ Professor Assistente I, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.

⁽³⁾ Professor Visitante da UFSM e aposentado do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia/UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 - Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

detail results obtained by nested analysis of variance, and to estimate the variance of characteristics within soil mapping units and the range of its application for land evaluation. Field work was performed from December, 1989 to March, 1990. The results confirmed that soil characteristics dependent on pedogenetic processes showed spatial interdependence up to 500 m or more, but the variance of characteristics affected by soil management would persist within shorter distances. Furthermore, the results indicated that land qualities such as nutrient availability cannot be extracted only from soil maps and that alternative methods of sampling and evaluation of spatial variability at short distances should be investigated to minimize the negative effect on the quality of soil maps.

Index terms: systematic sampling, semivariance analysis, soil characterization, land quality.

INTRODUÇÃO

A variabilidade das características dos solos constitui um problema, porque, em muitos casos, não é aparente e porque a maioria das características não pode ser medida continuamente no espaço. Burrough (1983) apresentou diversos exemplos de como o mapeamento de solos com crescentes detalhes revela novas estruturas de variação espacial.

A literatura sobre variabilidade espacial de solos fortemente intemperizados, de argila de atividade baixa, é escassa. No Brasil, a preocupação sobre a variabilidade do solo dentro de unidades cartográficas já foi expressa nos anos 70s, em trabalhos que usaram a estatística clássica, como os de Oliveira & Rotta (1973), Oliveira (1975) e Cadima et al. (1980), todos efetuados no Estado de São Paulo. Os relatórios de levantamentos de solos do Instituto Agronômico de Campinas (por exemplo, Oliveira et al., 1982) apresentaram tabelas com dados de variação das principais características e propriedades variáveis de solos em cada unidade de mapeamento. Em geral, dentro dessas unidades de mapeamento, pode-se notar uma variabilidade considerável das características químicas, como saturação por bases e soma de bases trocáveis, enquanto as unidades são mais homogêneas para características como textura e matéria orgânica. Não se pode excluir a possibilidade de parcialidades nestes resultados, pois as análises estatísticas são efetuadas para as mesmas observações anteriormente usadas para delinear as unidades de mapeamento. Também não é possível fazer nenhuma afirmação a partir dessas informações sobre os padrões de variação espacial das características dos solos dentro das unidades de mapeamento.

Os trabalhos consultados que usaram a teoria das variáveis regionalizadas no Brasil referem-se todos a escalas espaciais pequenas, de menos que 1 m, até pouco mais que 100 m. A variabilidade espacial nessas escalas tem maiores implicações para a pesquisa de campo. Nestes estudos, encontrou-se, geralmente, a maior parte da variação dos solos no intervalo de 5 a 15 m de distância. Por exemplo, Bacchi, mencionado por Reichardt et al. (1986), amostrou, com espaçamento de 1 m, um latossolo vermelho-escuro orto sob cana-de-açúcar em Araras (SP), numa transeção de 50 m. Os valores de autocorrelação para pH foram significativos (nível de 5%) até para 5 m de distância. O desvio-padrão do pH foi de 0,35, com valores

extremos de 4,6 e 6,3. Libardi et al. (1986) analisaram a variação da umidade, da textura e da densidade de partículas ao longo de uma transeção de 150 m, em distâncias regulares de 0,5 m, numa terra roxa estruturada em Piracicaba (SP). Todas as variáveis, exceto silte, mostraram dependência espacial até, aproximadamente, 15 m. No silte, ela foi de 40 m. É interessante notar que as formas dos semivariogramas para as diferentes variáveis foram bastante diferentes, sugerindo variação cíclica para a densidade das partículas. Os desvios-padrão para textura foram pequenos: 40 g kg⁻¹ para argila, 20 g kg⁻¹ para areia e 30 g kg⁻¹ para silte. Um estudo da variabilidade da profundidade e espessura da compactação do solo na mesma área (Silva et al., 1989), ao longo de uma transeção de 40 m, com observações a cada 10 cm, mostrou que as distâncias nas quais as amostras são consideradas dependentes corresponderam a menos de 2 m. A presença de variações cíclicas, neste caso, foi atribuída ao manejo do solo.

Para efetuar levantamentos pedológicos, porém, é necessário quantificar a variabilidade espacial em escalas de centenas de metros até quilômetros. Burrough (1991), entre outros, propôs metodologia para a determinação da variabilidade de características de solo facilmente mensuráveis em grande densidade e sua correlação com variáveis de obtenção mais onerosa, observadas em densidade menor. Berg & Klamt (1997), com base na hipótese que pode existir uma analogia de variâncias espaciais em regiões diferentes, mas com solos similares, estudaram a variabilidade espacial de características de solos em sete glebas na região do Planalto Médio (RS), por meio da análise da variância por amostragem aninhada. Esse estudo mostrou que amostragens sistemáticas em grades, com pontos distanciados de 600 m, é suficiente para pesquisar a variabilidade das principais características dos solos.

O presente trabalho tem como objetivo detalhar e confirmar os resultados obtidos por Berg & Klamt (1997), por meio da amostragem sistemática e utilização da análise da semivariância e da variância por gleba. Mais especificamente, objetiva-se determinar: (1) a maneira como solos intensamente intemperizados na região do Planalto Médio variam espacialmente; (2) a extensão em que mapas de solos podem ser usados para procedimentos de avaliação de terras na região, e (3) a variância mínima esperada dentro de unidades de mapeamento em mapas a serem produzidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem de campo

As glebas amostradas no presente estudo correspondem às de números 1 a 6 da amostragem aninhada efetuada na região do Planalto Médio por Berg & Klamt (1997). Todas as glebas possuíam uma área aproximada de 60 ha e estavam cultivadas com soja em sistema de manejo avançado; eram relativamente homogêneas, conforme indicava o mapa de solos e os aspectos fisiográficos, bem como os resultados da análise da variância por amostragem aninhada.

As glebas foram amostradas de tal maneira que pontos de observação vizinhos estavam afastados entre 250 e 300 m, o que resultou em 10 a 21 pontos de amostragem por gleba. Os pontos de amostragem não consistiram em uma grade totalmente regular, em vista do contorno irregular das glebas. Os pontos foram locados em mapas antes da coleta no campo, evitando, assim, parcialidade e assegurando uma distribuição regular. A amostragem foi sempre feita entre as linhas das culturas, quando presentes. Amostraram-se 97 pontos na profundidade de 0-20 e 60-80 cm.

A localização geográfica em coordenadas UTM dos pontos foi determinada por meio de mapas planialtimétricos, em escala 1:50.000, produzidos, em 1979, pelo Ministério do Exército e complementados por mapas com escala de 1:5.000 e 1:10.000, fornecidos pelos agricultores.

No campo, estimaram-se os ângulos de declive (cm m^{-1}) com um clinômetro de bolso e determinou-se a cor das amostras de terra (Escala Munsell). Os matizes das cores foram transformados para valores numéricos, conforme Lepsch et al. (1978).

Métodos de laboratório

As análises físicas e químicas das amostras foram efetuadas nos laboratórios de Pedologia e Fertilidade do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)/(SP). Os métodos usados estão de acordo com os descritos por Camargo et al. (1986), exceto para fósforo, que foi determinado segundo Raij & Quaggio (1983). As seguintes características dos solos foram analisadas: concentração de argila ($< 2 \mu\text{m}$), pelo método de pipeta e dispersão com hexametáfosfato de sódio e NaOH; pH em solução de KCl 1 mol L^{-1} (1:2,5); carbono orgânico (C), pela oxidação com bicromato de potássio (Walkley-Black); fósforo disponível (P, mg kg^{-1}), pela extração com a resina trocadora de íons; soma das bases trocáveis S (Ca + Mg + K + Na; $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) extraídas com $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7. A capacidade de troca catiônica (CTC, $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) foi calculada pela soma de S, mais a acidez potencial (H + Al, $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) extraída com acetato de cálcio 1 mol L^{-1} em pH 7 e titulação com NaOH, $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A percentagem de saturação por alumínio (m) foi calculada por $100\% * \text{Al}/(\text{S} + \text{Al})$, onde Al é a acidez trocável ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) extraída com 1 mol L^{-1} KCl e

titulação com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A percentagem de saturação por bases (V) foi calculada por $100 (\text{S}/\text{CTC})$.

Análise estatística

Os cálculos de média, variância, assimetria e curtose e a análise de variância dentro e entre glebas foram feitos conforme Wilkinson (1992), enquanto a análise de semivariância foi adaptada de Burrough & Keulen (1987). O variograma (g) foi determinado em função de I_{lag} , de todos os pares com distância mútua entre $(I_{lag} - 1) * d$ e $I_{lag} * d$, onde I_{lag} é um valor inteiro que variou desde 1 até o valor máximo definido. Para d , foi usado o valor de 0,3 km. Isso significa que, para $I_{lag} = 1$, todos os pares com distância mútua entre 0,0 e 0,3 km foram considerados; para $I_{lag} = 2$, todos os pares de dados entre 0,3 e 0,6 km, etc.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística geral

É apresentada na parte superior dos quadros 1 e 2, respectivamente, para as profundidades de amostragem de 0-20 e de 60-80 cm. Os dados indicam que a concentração de argila e a saturação por alumínio são, consideravelmente, maiores na camada de 60-80 cm do que na superficial. Já pH, V, P, S e CTC são maiores nos 20 cm superficiais. A maior parte das diferenças das características químicas entre as camadas de 0-20 cm e 60-80 cm são resultantes de calagem e fertilização, que afetaram em maior grau a camada de 0-20 cm. A maior CTC nessa camada explica-se também pelo teor de matéria orgânica mais elevado no horizonte superficial. A presença de teores mais baixos de argila na camada de 0-20 cm pode refletir a influência do material de origem na formação do solo, bem como de certa migração de argila para o horizonte B.

Análise da semivariância

Os resultados da análise da semivariância (Quadros 1 e 2) indicam que, para todas as variáveis, a maior parte da variância nas glebas ocorre em distâncias menores do que 300 m. Para a maioria das variáveis da camada de 60-80 cm e algumas de 0-20 cm, não foi possível detectar nenhuma estrutura espacial da variância, para os intervalos analisados. Os valores de γ para o intervalo de 1,4 km e, provavelmente, também os para o de 1,0 km, devem ser analisados com cautela, porque, embora o número de pares de dados pareça suficiente, o número de observações realmente independentes é pouco superior ao das glebas, em vista de os pares de dados estarem próximos um do outro. Isso resulta em alguns semivariogramas peculiares, como os para m e P da camada de 0-20 cm, os quais apresentam uma semivariância que diminui com o aumento dos intervalos, e os de S e V da camada de 60-80 cm, com mudanças abruptas. As diferenças entre valores de γ

para os intervalos de 0,3 e 0,6 km são, geralmente, pequenas.

Análise da variância por gleba

Os resultados da análise da variância por gleba encontram-se também nos quadros 1 e 2. Mais de 85% da variância total do teor de argila na camada de 0-20 cm é explicada pela análise da variância, bem como outras características de solo, com exceção do croma e da concentração em P. As diferenças em variância na camada de 0-20 cm para a de 60-80 cm são, provavelmente, causadas pelo manejo, pois a aplicação de calcário causou a diminuição de Al trocável e a saturação por Al (m) da camada de 0-20 cm, tornando as glebas mais similares. No caso de pH, a variância entre glebas é maior para a de 0-20 cm, provavelmente devido a quantidades diferentes e/ou à distribuição não homogênea dos corretivos aplicados. Nesses solos com CTC muito baixa, m decresce até praticamente zero, sem relação com a quantidade de calcário aplicado, acima de um valor crítico, que corresponde a pH 5,5. O resultado é uma variância grande do pH e pequena de m na camada superficial. A variância de P também é muito elevada nessa camada, provavelmente, induzida pela aplicação heterogênea de P nas fertilizações. No entanto, para a maioria das variáveis, a análise da variância explicou parte menor da variância das características da camada de 60-80 cm do que das características de 0-20 cm. A causa disso não é uma heterogeneidade da camada subsuperficial, mas, sim, a uniformidade geral das suas características, em todas as glebas. Para a maioria das características da camada de 60-80 cm, a variância ponderada dentro das glebas é menor do que na de 0-20 cm.

Efeito da transformação logarítmica dos dados

Em alguns casos, verificou-se que a assimetria e a curtose dos dados originais e dos resíduos da análise de variância apresentaram desvios de zero (Quadros 1 e 2) quando o somatório desses valores deveria ser zero. A análise da semivariância de dados transformados e a assimetria - curtose dos resíduos transformados (log) (Quadros 1 e 2) mostram que variáveis com distribuição fortemente assimétricas ou cúrticas (notadamente para P) obtêm uma distribuição mais próxima da normal após a transformação logarítmica. Essa transformação também ajuda a tornar dados distantes menos importantes, e a variância nas glebas mais homogênea. A transformação logarítmica também deixou as diferenças entre as camadas menos evidentes. A transformação pareceu mais apropriada para S, m% (0-20 cm) e V (60-80 cm). A variância determinada pela análise da variância não mudou muito para a maioria das características, mas, em alguns casos, a transformação levou a valores, consideravelmente, diferentes. As mudanças não são consistentes. Por exemplo, 53% da variância em m na camada de 0-20 cm foi determinada pela análise da variância. Essa porcentagem aumentou para 69 após a transformação. No caso da mesma característica, porém na camada de 60-80 cm, a

porcentagem da variância, determinada pela análise da variância, diminuiu, após a transformação, de 47 para 25%.

Comparação de variância aninhada com semivariância

Os resultados apresentados revelam discrepâncias entre as análises da semivariância e a da variância por gleba e por amostragem aninhada. No caso da concentração em argila, a variância dentro de glebas é um pouco maior nos resultados das análises da amostragem geral (semivariância, análise da variância) do que na amostragem aninhada, verificada por Berg & Klamt (1997). A variância total da concentração em argila na camada de 60-80 cm, na amostragem geral, também é maior do que na aninhada. Para o matiz da cor, a análise aninhada indicou valores maiores de variância para a camada de 60-80 cm do que para a superficial, para o intervalo de amostragem mais elevado (entre glebas). A análise da variância para as amostras de cobertura geral sugeriu o inverso.

A maioria das discrepâncias pode ser explicada pelo número limitado de observações, principalmente na análise aninhada usada por Berg & Klamt (1997). É necessário considerar também que alguns métodos usados foram diferentes, como, por exemplo, teor de argila determinado ao tato na amostragem aninhada versus método da pipeta no presente estudo.

No entanto, em geral, os variogramas aninhados concordam bem com os semivariogramas que se baseiam num esquema de amostragem muito mais intensivo. A análise aninhada permitiu, de maneira rápida, uma indicação aproximada dos padrões espaciais, que podem servir como base para a determinação da densidade de amostragem. A amostragem aninhada não permite a obtenção de informações mais detalhadas sobre a variabilidade espacial, enquanto o número de amostras for pequeno. Caso uma amostragem maior seja adotada, deve-se preferi-la com densidade mais homogênea ou em transeções. Corsten & Stein (1991) chegaram a uma conclusão similar, quando compararam os resultados de interpolação para diferentes quadros de amostragem.

Comparação da semivariância com a análise da variância por gleba

Teoricamente, o patamar da semivariância deveria ser igual à variância dentro das glebas. Para a maioria das características, a variância dentro das glebas está muito perto da semivariância nos intervalos entre 0,3 e 0,6 km. Isso não significa, necessariamente, que o alcance da dependência espacial está entre 0,3 e 0,6 km, porque as glebas têm uma superfície restrita. Na maioria dos casos, a maior parte da variância dentro das glebas já estava presente no intervalo de 0,3 km. Isso sugere que se ganha pouco pelo uso de métodos de interpolação, que consideram a dependência espacial. Aparentemente, as glebas podem, igualmente, ser descritas em termos clássicos de média e variância.

Otimização da amostragem

Na região de estudo, existem dois níveis principais de variabilidade das características dos solos. Aquela relacionada com o material de origem, e que não pode ser modificada com facilidade, como por exemplo, teor de argila e CTC, que podem ser determinados numa densidade de amostragem de, aproximadamente, uma observação por quilômetro quadrado.

As modificações impostas pelo manejo resultam numa variabilidade considerável, a curto espaço, notadamente para o P na camada de 0-20 cm, decorrente da fertilização, e para V e pH, decorrente

da calagem. O contrário observa-se com m%, cuja variância diminuiu em todos os níveis, devido à diminuição geral dos níveis de Al-trocável nos solos onde foi aplicado o calcário. A variabilidade espacial de alcance intermediário foi de importância menor. Essa variabilidade está, possivelmente, relacionada com a fisiografia da área (Jansen, 1991). A variabilidade espacial que ocorreu em distâncias pequenas praticamente não pode ser determinada. A amostragem composta talvez poderia amenizar as variações a curtas distâncias e filtrar aquelas com alcance médio, as quais poderiam ser mapeadas sem custos adicionais excessivos. Essas amostras

Quadro 1. Sumário de análises estatísticas das características dos solos estudados em amostragem sistemática em seis glebas, profundidade de 0-20 cm, no Planalto Médio (RS)⁽¹⁾

	Declive cm m ⁻¹	Cor		Argila g kg ⁻¹	pH KCl	Complexo de troca				C g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹
		Matiz	Croma			S mmol _c kg ⁻¹	CTC — % —	m	V		
Estatística geral											
Valor mínimo	0	32	2,5	221	3,7	14	28	0	27	10	16
Valor máximo	20	48	4,0	720	6,0	177	183	47	99	27	353
Média aritmética	8	39	3,2	480	4,8	75	109	9	66	17	62
Média geométrica	7	38	3,2	450	4,8	65	103	4	63	17	55
Análise da semivariância											
γ (0,3) - 185 pares	18,6	3	0,06	2,1'	0,11	4,1'	300	60	162	4	1,47'
γ (0,6) - 285 pares	21,9	3	0,08	2,6'	0,12	4,4'	290	63	173	4	2,32'
γ (1,0) - 197 pares	17,0	4	0,08	3,3'	0,14	4,6'	310	37	169	5	1,40'
γ (1,4) - 104 pares	17,8	4	0,07	2,6'	0,12	4,1'	320	33	162	5	1,06'
Análise da variância por gleba											
Variância total	22	10	0,09	24,1'	0,35	1,43'	10,6'	133	337	12	1,61'
Variância dentro da gleba	19	4	0,08	2,6'	0,11	0,39'	3,1'	62	173	4	1,53'
Variância explicada (%)	14	62	14	89	68	73	71	53	49	65	5
Assimetria - curtose dos resíduos (valores observados - médias)											
Assimetria	0,0	0,0	0,3	-0,5	0,1	0,6	0,1	1,1	0,4	0,7	4,2
Curtose	-0,1	-0,3	-0,6	-1,2	-0,2	1,8	-0,1	3,8	0,0	1,0	24,7
Análise da semivariância de dados transformados (log)											
γ (0,3)	0,58	2'	6'	120'	4'	0,7	430'	0,69	0,05	120'	0,20
γ (0,6)	0,62	2'	8'	140'	5'	0,7	400'	0,77	0,05	130'	0,22
γ (1,0)	0,44	3'	8'	130'	6'	0,7	430'	0,65	0,04	140'	0,23
γ (1,4)	0,42	3'	6'	90'	5'	0,6	430'	0,88	0,04	160'	0,26
Assimetria - curtose dos resíduos transformados - log (valores observados - médias)											
Variância total	0,58	6'	8'	1400'	15'	3,2	1400'	2,24	0,10	450'	0,24
Variância dentro da gleba	0,53	3'	7'	140'	5'	0,7	490'	0,7	0,05	140'	0,22
Variância explicada (%)	9	60	13	90	69	78	65	69	48	69	9
Assimetria - curtose dos resíduos transformados - log (valores observados - médias)											
Assimetria	-1,2	-0,1	0,1	-0,4	0,0	-0,2	-1,2	0,0	0,1	0,3	0,2
Curtose	1,2	-0,4	-0,6	-1,1	-0,2	0,5	3,0	0,3	1,1	0,8	1,2

⁽¹⁾ Multiplicar valores assinalados com ' por 10³.

compostas deveriam consistir em amostras coletadas dentro de 1 a 5 m.

Conseqüências para a avaliação das terras

Os resultados indicaram que a disponibilidade de nutrientes, que é de importância especial para a produção agrícola, não pode ser inferida somente de mapas de solos. Relatórios da história do manejo das glebas podem ajudar a determinar essa qualidade de terras. Em regiões nunca utilizadas para a agricultura, os solos tendem a apresentar maior variabilidade sistemática do que ao acaso (Upchurch & Edmonds, 1991) e, por conseguinte, os mapas de solos podem refletir melhor a variabilidade espacial das características químicas dos solos, do que no presente estudo.

No caso da utilização de modelos de rendimento de culturas para a avaliação das terras, fica claro que alimentar os modelos apenas com dados de perfis

representativos pode levar a uma propagação de erro pelo fato de não levar em conta as variações induzidas pelo manejo das áreas, conseqüentemente, de curta distância, sem considerar o fato de os perfis caracterizados nos levantamentos de solos não serem representativos para as unidades de mapeamento delineadas.

Comparação com estudos anteriores

Os resultados deste estudo comprovam aqueles já publicados e referidos. Este estudo também mostrou uma variabilidade relativamente grande a curta distância, para as características facilmente modificadas pelo manejo (P, pH, V) da camada superficial, enquanto outras características, como o teor de argila e de C e a CTC se mostraram homogêneas nas glebas, em comparação com a variabilidade total na região. É importante notar que este estudo cobriu mais níveis espaciais que as publicações

Quadro 2. Sumário de análises estatísticas das características dos solos estudados em amostragem sistemática em seis glebas, profundidade de 60-80 cm, no Planalto Médio (RS)⁽¹⁾

	Cor		Argila	pH	Complexo de troca				C	P
	Matiz	Croma			KCl	S	CTC	m		
			g kg ⁻¹		- mmol _c kg ⁻¹ -		- % -		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Estatística geral										
Valor mínimo	30	3,5	380	3,8	5	54	3	8	4	1
Valor máximo	46	6,0	820	4,9	68	115	89	73	11	11
Média aritmética	33	5,2	650	4,2	23	75	51	30	8	3
Média geométrica	33	5,2	630	4,2	20	74	43	27	8	3
Análise da semivariância										
γ (0,3) - 185 pares	2	0,24	1,9'	0,02	120	90	198	110	2,1'	2
γ (0,6) - 285 pares	2	0,22	2,7'	0,03	110	90	229	121	2,3'	2
γ (1,0) - 197 pares	3	0,22	2,4'	0,04	150	110	267	152	2,7'	2
γ (1,4) - 104 pares	3	0,15	2,1'	0,04	170	130	294	171	2,9'	4
Análise da variância por gleba										
Variância total	7	0,56	17,9'	0,04	170	120	422	195	2,3'	2
Variância dentro da gleba	3	0,23	2,6'	0,03	120	100	225	125	2,3'	2
Variância explicada (%)	60	59	86	36	26	16	47	36	0	7
Assimetria - curtose dos resíduos (valores observados - médias)										
Assimetria	1,3	-0,1	-0,8	1,9	1,0	0,8	-0,8	1,1	0	2,2
Curtose	6,8	-0,7	1,4	5,4	3,2	1,5	0,2	1,1	-0,5	6,9
Análise da semivariância de dados transformados (log)										
γ (0,3)	2'	11'	60'	1'	1,5	160	0,34	0,09	340'	0,12
γ (0,6)	2'	9'	80'	1'	1,7	160	0,36	0,12	370'	0,11
γ (1,0)	2'	8'	60'	2'	1,9	190	0,47	0,12	440'	0,14
γ (1,4)	2'	5'	50'	2'	2,0	220	0,54	0,12	540'	0,20
Assimetria - curtose dos resíduos transformados - log (valores observados - médias)										
Variância total	6'	25'	500'	2'	2,5	210'	0,48	0,21	380'	0,14
Variância dentro da gleba	2'	10'	80'	1'	1,7	170	0,36	0,12	380'	0,13
Variância explicada (%)	63	60	84	38	32	16	25	50	0	9
Assimetria - curtose dos resíduos transformados - log (valores observados - médias)										
Assimetria	0,9	-0,1	-0,9	1,2	0,2	0,1	-2,0	0,3	-0,5	0,4
Curtose	4,0	-0,4	2,0	1,0	0,6	0	4,4	-0,1	0,4	1,0

⁽¹⁾ Multiplicar valores assinalados com ' por 10³.

consultadas, que focalizaram em distâncias muito curtas ou que usaram a estatística clássica para estudar a variância dentro de unidades de mapeamento. Estudos adicionais serão necessários para verificar se as tendências para os intervalos entre 50-1.000 m encontrados também se manifestam em outras regiões, com solos similares.

CONCLUSÕES

1. Uma densidade de uma amostra por 0,25 km² ou mais (intervalo de 500-1.000 m entre pontos vizinhos) é suficiente para determinar os principais padrões espaciais dos solos fortemente intemperizados, encontrados na área de estudo. A variância de algumas características químicas dos solos, dentro das unidades de mapeamento a serem definidas, ainda será considerável. Aumentando a densidade de amostragem para uma por 0,0025 km² (isto é, intervalos de 50 m) resultaria em reduzidos melhoramentos da qualidade do levantamento dos solos;

2. Métodos de amostragem alternativos, como a amostragem composta, devem ser estudados para determinar se as variações a distâncias muito pequenas (< 10 m) podem ser avaliadas e definidas;

3. A disponibilidade de nutrientes não pode ser inferida apenas a partir de mapas de solos, porque é muito influenciada pelo manejo;

4. Os sistemas de classificação de solos existentes e legendas de mapas de solos não levam em conta que a agricultura intensiva pode modificar, facilmente, algumas características dos solos. Assim, não é aconselhável usar atributos, como saturação por bases do horizonte superficial, como critério diagnóstico para a classificação dos solos em áreas com níveis avançados de manejo, ou horizontes diagnósticos superficiais definidos com base nesse atributo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Fundação de Amparo à Pesquisa Científica nos Trópicos (WOTRO), Holanda, os recursos recebidos; à Faculdade de Agronomia da Universidade de Passo Fundo e ao Centro Nacional de Pesquisa do Trigo-CNPq/EMBRAPA, o apoio; ao Instituto Agronômico de Campinas (SP), a realização das análises de solo, e aos proprietários rurais, Srs. Bertagnolli, Graziotin, Augustin e Marinho, o acesso às propriedades, informações referentes ao manejo dos solos e rendimentos obtidos e apoio, o que tornou esta pesquisa possível.

LITERATURA CITADA

- BERG, M. van den & KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do Planalto Médio, RS: I. Análise da variância por amostragem aninhada. R. bras. Ci. Solo, Viçosa, 21:393-399, 1997.
- BURROUGH, P.A. Multiscale sources of spatial variation in soils. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. J. Soil Sci., London, 34:577-597, 1983.
- BURROUGH, P.A. Sampling designs for quantifying map unit composition. In: Spatial variabilities of soils and landforms. Soil Science Society of America, Madison, 1991. p.89-125 (Special Publication, 28)
- BURROUGH, P.A. & KEULEN, J. Van. PC-GEOSTAT - a set of programs for geostatistical analysis. Utrecht, The Netherlands. University of Utrecht, 1987. p.123.
- CADIMA, Z.A.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um latossolo amarelo textura média no campo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4:63-66, 1980.
- CAMARGO, A.O.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, IAC, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106)
- CORSTEN, L.C.A. & STEIN, A. Are nested designs recommendable for spatial semivariogram estimation? In: STEIN, A., ed. Spatial Interpolation. Wageningen, Agricultural University, 1991. p.41-70.
- JANSEN, L. Soil-landscape relations and a distance-price relation for sugarcane in the assis area, São Paulo State, Brazil. Wageningen, Agricultural University, 1991. p.88. (Dissertação de Mestrado)
- LEPSCH, I.F.; MENK, J.R.J.; OLIVEIRA, J.B.; SILVA, O.A.L.; MASSON, W. & BORDINI, O. Apoio computacional em levantamento de solos. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 44p. (Boletim, 210)
- 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. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10:85-90, 1986.
- OLIVEIRA, J.B. Diferenciação e distribuição em diversos níveis categóricos de duas áreas aparentemente homogêneas. Bragantia, Campinas, 34:310-348, 1975.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L. & TREMOCOLDI, W. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. Campinas, Instituto Agronômico, 1982. 180p. (Boletim técnico, 72)
- OLIVEIRA, J.B. & ROTTA, C.L.. Apreciação generalizada sobre a variação das características químicas das unidades de solo da Estação Experimental de Limeira. Bragantia, Campinas, 32:62-69, 1973.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10:1-6, 1986.

SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:1-5, 1989.

UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, W.J. Statistical procedures for specific objectives. In: MAUSBACH, M.J. & WILDING, L.P. eds. Spatial variabilities of soil land-forms. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.73-88. (Special Publication, 28)

WILKINSON, L. Systat for windows, version 5. Evanston, Systat, Inc., 1992. p.750.