



GEOESTATÍSTICA APLICADA AOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA

ALEX DE OLIVEIRA¹; CÉLIA R. GREGO²; CRISTINA A. G. RODRIGUES³; SANDRA F. NOGUEIRA⁴; ANDRÉ L. S. FURTADO⁵ e CAIO G. F. ALMEIDA⁶

Nº 11505

RESUMO

A combinação de dados espacialmente distribuídos da produção agrícola, como os de produtividade e atributos do solo, constitui importante ferramenta de diagnóstico para uso mais eficiente das informações, possibilitando melhor manejo da variabilidade no campo. O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo e da produtividade da soja por meio da análise geoestatística, com o intuito de colaborar com a avaliação da qualidade do solo no Município de Campinas, SP. Os dados foram obtidos por meio de amostragem em 50 pontos georreferenciados: atributos físicos (densidade do solo e infiltração de água no solo) e químicos (pH, soma de bases e saturação por bases) e a produtividade da soja foram submetidos à análise de dependência espacial. A análise geoestatística possibilitou a identificação da variabilidade espacial de alguns atributos físicos e químicos do solo e da produtividade de soja. Mapas de isolinhas permitiram estabelecer relações entre os atributos físicos e químicos do solo. Houve semelhanças quanto aos locais de melhor fertilidade do solo em relação aos valores de pH e saturação por bases de 10-20 cm e maiores valores de produtividade da soja. Em relação aos atributos físicos, esta relação não foi detectada espacialmente.

¹ Bolsista CNPq: Graduação em Eng. Ambiental e Sanitária, PUC-Campinas, Campinas-SP, alexpuc@gmail.com.

² Orientadora: Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

³ Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁴ Pesquisadora, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁵ Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁶ Bolsista CNPq: Graduação em Tecnologia Ambiental, Unicamp, Limeira-SP.

ABSTRACT

The combination of spatially distributed data of agricultural production, such as productivity and soil properties, is an important diagnostic tool for a more efficient use of information, thus enabling better management of the variability at the field. The aim of this work was to analyze the spatial variability of physical and chemical properties of the soil and of the soybean yield by means of geostatistical analysis in order to collaborate with the assessment of soil quality in the city of Campinas, SP, Brazil. Data were obtained from 50 georeferenced sampling points: physical (soil bulk density and water infiltration) and chemical (pH, sum of bases and base saturation) attributes, and soybean yield were subjected to spatial dependence analysis. The geostatistical analysis enabled the identification of the spatial variability of some physical and chemical soil properties and of soybean yield. Contour maps enabled establishing relationships between the physical and chemical properties of the soil. There were similarities among places with higher soil fertility in terms of pH and base saturation in 10-20 cm, and higher values of soybean yield. In terms of the physical attributes, this relationship was not detected spatially.

INTRODUÇÃO

A conscientização da importância do solo na qualidade ambiental, e as discussões sobre sua qualidade se intensificaram partir da década de 1990 com o intuito de se controlar a degradação dos recursos naturais (HARTEMINK, 1998; BOUMA, 2002). Para que a qualidade do solo seja avaliada adequadamente num determinado sistema de produção agrícola, os seus atributos físicos e químicos devem ser considerados.

A combinação de dados espacialmente distribuídos da produção agrícola, como os de produtividade e atributos do solo, constitui importante ferramenta de diagnóstico para o uso mais eficiente das informações, possibilitando melhor manejo da variabilidade no campo.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos (ROSA FILHO et al., 2009; CAMPOS et al., 2009) com o objetivo de analisar as relações espaciais existentes entre mapas de produtividade e atributos do solo. Vieira (2000) ressalta a necessidade de se avaliar a variabilidade espacial das amostragens em campo por meio da geoestatística, no sentido de se verificar sua dependência espacial por meio de semivariograma. De acordo com o autor, após verificada essa dependência é possível

estimar valores para locais não amostrados, com variância mínima e sem tendenciosidade, por meio do método de krigagem. Dessa forma, a geoestatística se revela uma ferramenta adequada para estudos que envolvem qualidade do solo.

Campos et al. (2009) reforçam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo auxilia no manejo preciso das atividades agrícolas por meio de separação de ambientes, práticas adequadas de adubação e alocação de variedades.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo e da produtividade da soja por meio da análise geoestatística no intuito de colaborar com a avaliação da qualidade do solo no Município de Campinas, SP.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em Campinas, SP, tem aproximadamente 2 ha, clima subtropical úmido e relevo local e regional suave ondulado, coordenada de referência UTM zona 23 S, 7470622 N, 286776 E. O sistema de manejo da área foi o plantio direto com o cultivo da soja (*Glycine max* L. Merr.) no solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro.

Os dados foram obtidos por meio de amostragem em 50 pontos georreferenciados numa grade amostral regular, conforme a Figura 1.

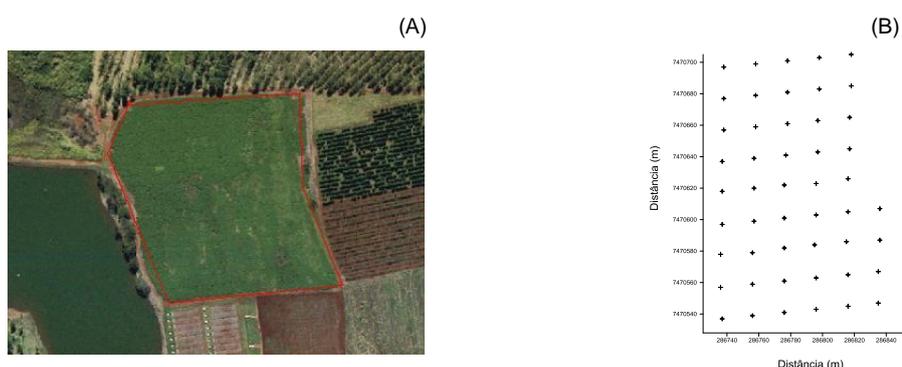


FIGURA 1. Área experimental do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), SP: (A) foto aérea de 2006; (B) grade de amostragem com 50 pontos.

Os resultados da análise química do solo nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm foram obtidos por meio da metodologia de Raij et al. (2001). Os teores de argila de 0-20 cm foram determinados segundo o método de dispersão em água. Obteve-se a densidade do solo na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm a partir da metodologia de Camargo et al. (1986), com amostras indeformadas, coletadas em anéis volumétricos de 95 cm³.

As medições de permeabilidade foram efetuadas com o permeâmetro modelo IAC, de acordo com método estabelecido por Vieira (1998). Foram calculadas a infiltração tridimensional e a condutividade hidráulica saturada do solo a 10 cm e 20 cm de profundidade.

Dados da produtividade da soja em $t\ ha^{-1}$ foram obtidos por amostragem numa área útil de $5\ m^2$ por ponto. A parte aérea das plantas foi coletada no momento da colheita e os grãos foram pesados após a separação da palha.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e a análise geoestatística por meio da construção e do ajuste de semivariogramas e de interpolação por krigagem ordinária utilizando os programas desenvolvidos por Vieira (2000). A construção de mapas de isolinhas foi realizada no programa Surfer 9. Estas análises possibilitaram o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e da produtividade de soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da análise estatística descritiva para os atributos físicos e químicos do solo e a produtividade de grãos da soja. Os altos valores de argila indicam a textura argilosa do solo. O menor valor do coeficiente de variação apresentado foi de 4,71 na densidade do solo entre 10-20 cm, enquanto o maior valor foi de 61,83% na infiltração de água no solo entre 10-20 cm. Os valores de densidade e de infiltração de água no solo indicaram melhores condições físicas na superfície que entre 10-20 cm.

Os atributos químicos do solo apresentaram coeficientes de variação entre 5,40% para pH em 0-10 cm e 40,05% para soma de bases em 10-20 cm. A camada superficial apresenta maiores valores médios de matéria orgânica, soma de bases e também de saturação por bases, o que indica melhor fertilidade que a da camada inferior amostrada. Os resíduos superficiais das culturas no plantio direto podem ter propiciado este resultado.

A produtividade da soja apresentou média de $2,03\ t\ ha^{-1}$, inferior a média do Estado de São Paulo, que, segundo Tanaka e Mascarenhas (1992), é de $2,66\ t\ ha^{-1}$, porém o valor máximo de $3,67\ t\ ha^{-1}$ ultrapassou a média do estado.

Valores de simetria e curtose foram, na maioria, próximos de zero, indicando normalidade de distribuição de frequência, exceto para argila, matéria orgânica (10-20 cm) e soma de bases (10-20 cm).

TABELA 1. Parâmetros estatísticos para atributos físicos e químicos do solo e produção de soja.

Variáveis	Média	Variância	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Atributos físicos do solo								
Argila, g kg ⁻¹ (0-20 cm)	124,00	217,10	14,73	11,89	104,50	208,80	4,02	22,60
Densidade, g cm ⁻³ (0-10 cm)	1,23	0,01	0,08	6,21	1,08	1,38	-0,01	-0,25
Densidade, g cm ⁻³ (10-20 cm)	1,32	0,01	0,06	4,71	1,18	1,45	0,32	-0,12
Infiltração, mm h ⁻¹ (0-10 cm)	95,92	2.111,00	45,95	47,90	30,19	229,40	1,06	0,86
Infiltração, mm h ⁻¹ (10-20 cm)	91,23	3.181,00	56,40	61,83	24,15	265,60	1,18	0,86
Atributos químicos do solo								
pH (0-10 cm)	5,06	0,09	0,30	5,40	5,00	6,40	0,79	0,50
pH (10-20 cm)	5,41	0,14	0,38	6,97	4,70	6,30	0,65	0,43
MO, g dm ⁻³ (0-10 cm)	34,06	17,24	4,15	12,19	22,00	40,00	-1,08	1,11
MO, g dm ⁻³ (10-20 cm)	28,10	65,68	8,11	28,84	21,00	73,00	3,66	18,83
Soma de bases, mmolc dm ⁻³ (0-10 cm)	42,54	135,70	11,65	27,38	24,00	75,00	0,70	0,05
Soma de bases, mmolc dm ⁻³ (10-20 cm)	29,80	142,40	11,93	40,05	18,00	82,00	2,46	7,71
Saturação por bases (0-10 cm)	49,62	100,40	10,02	20,19	29,00	70,00	-0,01	-0,84
Saturação por bases (10-20 cm)	38,00	148,80	12,20	32,10	20,00	78,00	1,13	1,16
Produtividade da cultura								
Produção de grãos, t ha ⁻¹	2,03	0,34	0,58	28,57	0,47	3,67	0,65	1,68

A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância de acordo com a distância entre pontos, e foram construídos e ajustados semivariogramas. Para o ajuste, considera-se que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si que aquelas separadas por grandes distâncias (VIEIRA, 2000). Para as variáveis ajustadas, o modelo que mais se adequou aos semivariogramas foi o esférico, que apresenta duas estruturas. Partindo do efeito pepita (C0), ocorre um crescimento da semivariância com a distância até um valor máximo, no qual ele se estabiliza em um patamar (Co+C1) e numa distância alcance (a). A Figura 2 mostra os semivariogramas ajustados para os atributos que apresentaram dependência espacial.

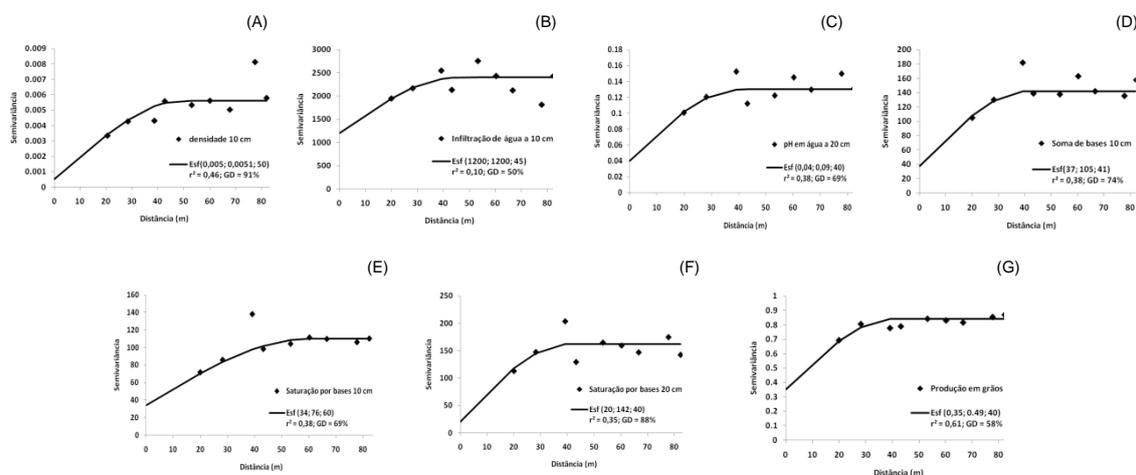


FIGURA 2. Semivariogramas para atributos físicos e químicos do solo e produção de soja: (A) densidade do solo (g cm^{-3}) entre 0-10 cm; (B) infiltração de água no solo (mm h^{-1}) a 10 cm; (C) pH em água entre 10-20 cm; (D) soma de bases (mmolc dm^{-3}) entre 0-10 cm; (E) saturação por bases (%) entre 0-10 cm; (F) saturação por bases (%) entre 10-20 cm; (G) produção de soja em grãos (t ha^{-1}).

A partir da dependência espacial identificada nos semivariogramas foi possível interpolar dados nos locais não amostrados por krigagem ordinária. Valores interpolados foram espacializados e foram construídos mapas de isolinhas (Figura 3).

A visualização dos mapas permite estabelecer relações entre os atributos químicos do solo (pH entre 10-20 cm e saturação por bases entre 10-20 cm) e a produtividade da soja. De acordo com Souza et al. (2010), o conteúdo de nutrientes disponível para a planta é muito sensível às mudanças de pH do solo, e tem sua faixa ótima entre 5,5 e 6,5. Os mapas reforçam o conceito dos autores e permitem inferir que locais com melhor fertilidade do solo quanto ao pH e à saturação por bases entre 10-20 cm levaram à melhor produtividade da soja.

Os atributos físicos do solo apresentaram manchas em locais semelhantes quanto à menor densidade e maior infiltração de água no solo na profundidade de 0-10 cm. Contudo, não foi possível estabelecer relações com a produtividade da soja, e isso pode ter ocorrido porque esses atributos físicos mapeados referem-se à camada superficial do solo (0-10 cm) e provavelmente não afetam a produtividade da soja por estarem acima da profundidade de ocorrência da maior parte do sistema radicular da planta, que pode chegar até 1,2 m de profundidade, de acordo com a densidade do solo e resistência à penetração (TANAKA; MASCARENHAS, 1995). Estes atributos não apresentaram dependência espacial na profundidade de 10-20 cm,

impossibilitando a interpolação por krigagem e, conseqüentemente, a construção de mapas de isolinhas.

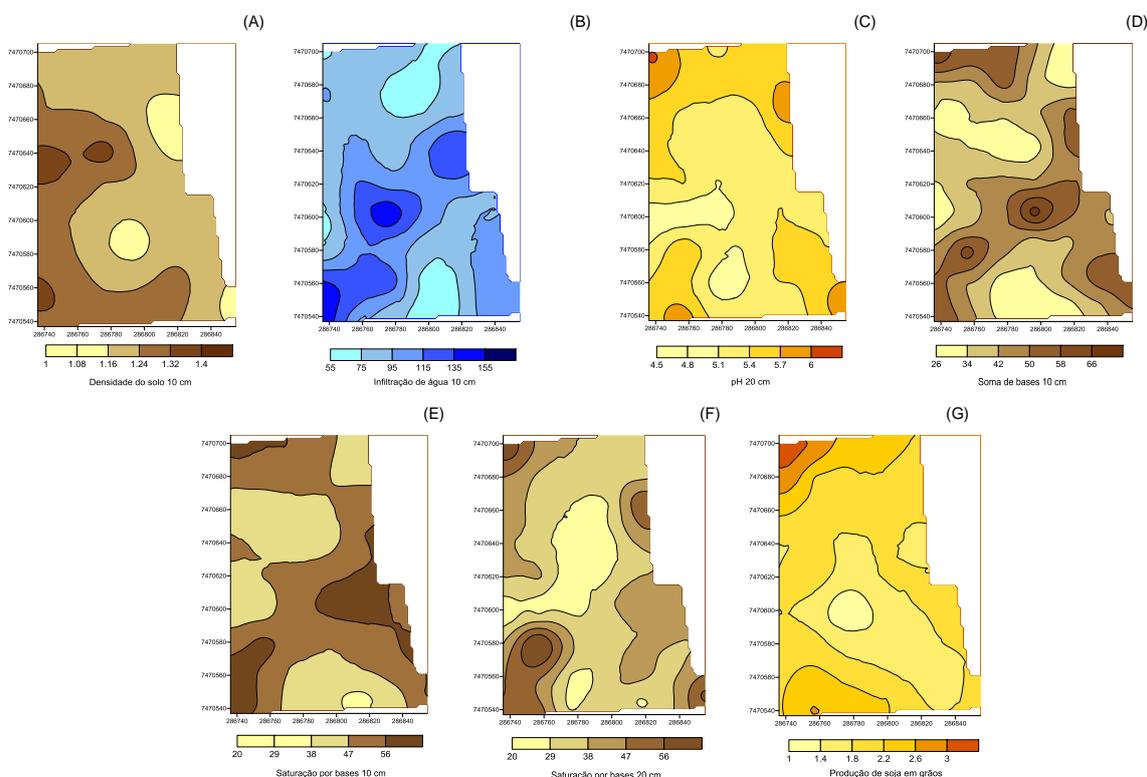


FIGURA 3. Mapas de isolinhas: (A) densidade do solo (g cm^{-3}) entre 0-10 cm; (B) infiltração de água no solo (unidade) entre 0-10 cm; (C) pH em água entre 10-20 cm; (D) soma de bases (mmolc DM^{-3}) entre 0-10 cm; (E) saturação por bases (%) entre 0-10 cm; (F) saturação por bases (%) entre 10-20 cm; (G) produção de soja em grãos (t ha^{-1}).

CONCLUSÃO

A dependência espacial foi encontrada para os atributos físicos (densidade e infiltração) e para os químicos (pH, soma de bases e saturação por bases). A produtividade da soja também se mostrou dependente espacialmente.

Os mapas dos atributos do solo apresentaram manchas em locais semelhantes quanto à menor densidade, maior infiltração e às maiores porcentagens de saturação por bases, indicando o local com melhor qualidade do solo na área amostrada quanto aos atributos físicos e químicos do solo.

Os mapas permitiram estabelecer a relação entre a produtividade da soja e os atributos químicos do solo. Para locais com melhor fertilidade do solo, considerando o pH e a saturação por bases entre 10-20 cm, a produtividade da soja foi maior. Em relação aos atributos físicos, essa relação não foi detectada espacialmente.



AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – PIBIC, pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 129-136, feb. 2002.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, L. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 93 p. (Boletim Técnico, 106)

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, maio/jun. 2009.

HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane cultivation in Papua New Guinea. **Geoderma**, v. 85, p. 283-306, 1998.

RAIJ, E. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. p. 284.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, mar./abr. 2009.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; VILLANI, E. M. A. Efeitos do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1641-1652, 2010.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. **Soja: nutrição, correção do solo e adubação**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60 p. (Série Técnica, 7).

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Desenvolvimento do sistema radicular da soja em sucessão à crotalária. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 1, p. 161-167, 1995.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 47/50, p. 32-33, 1998.