

Variabilidade espacial de pedoindicadores químicos e físicos de Latossolos e Argissolo no Estado de São Paulo

Ivanildo Amorim de Oliveira⁽¹⁾; Ludmila de Freitas⁽²⁾; Renato Eleotério de Aquino⁽¹⁾; Laércio do Santos Silva⁽³⁾; Milton César Costa Campos⁽⁴⁾; José Carlos Casagrande⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Doutorandos do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP; Jaboticabal, SP. E-mail: ivanildoufam@gmail.com; ⁽²⁾ Pós-doutoranda do programa Ciência do Solo; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. ⁽³⁾ Mestrado do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto II; Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/UFAM; ⁽⁵⁾ Professor; Universidade Federal de São Carlos – Campus de Araras.

RESUMO: O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos indicadores de mudanças ambientais dos solos com uso das análises multivariadas e geoestatística, pode auxiliar no melhor planejamento, uso e manejo de solos. Este trabalho concentra-se em avaliar a variabilidade espacial de pedoindicadores físicos e químicos de solos com diferentes texturas. O estudo foi realizado na região nordeste do estado de São Paulo, em Latossolos de textura arenosa e argilosa e em um Argissolo com textura arenosa. Nestas áreas foram estabelecidas malhas de 40 x 55 m onde o solo foi amostrado na profundidade de 0,0-0,10 m nos pontos de cruzamento com espaçamentos regulares de 10 x 5 m. Foram determinados os atributos: pH (CaCl₂), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P resina, H+Al, B, S, Fe, Mn, Zn, MO, Ds, Dp, macro, microporosidade e Pt. . Foram realizadas análises estatísticas multivariadas, descritivas e geoestatística. A análise multivariada possibilitou selecionar os atributos que mais contribuem para a variabilidade dos solos e suas relações com as áreas estudadas, e com isso, verificou-se que a área com textura arenosa apresentou maior variabilidade dos dados, com menos valor de alcance.

Termos de indexação: análise multivariada, geoestatística, manejo do solo.

INTRODUÇÃO

A ausência ou a redução do revolvimento do solo pode ocasionar acúmulo superficial de nutrientes (Merten & Mielniczuk, 1991), causado pela deposição de resíduos orgânicos na superfície, bem como o modo de aplicação de adubos no solo e o menor grau de mistura dos mesmos (Pereira et al., 2009). No entanto, a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo pode causar importantes alterações nos atributos químicos e físicos do solo, já no primeiro ano de implantação (Lourente et al., 2011).

O uso de técnicas estatísticas podem auxiliar no conhecimento das alterações ocasionadas ao solos quando cultivados, na tomada de decisão e no conhecimento da variação espacial dos atributos do

solo, sendo isso um importante passo para que se possa empregar um manejo mais adequado.

Assim, objetivou-se com este estudo utilizar conjuntamente técnicas de estatísticas multivariadas e geoestatísticas por meio de semivariogramas escalonados para a determinação da variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de solos com diferentes texturas no noroeste do estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado três áreas cultivadas com cana-de-açúcar localizadas no interior do Estado de São Paulo. A área 1 (A1) localizada no Município de Araras - São Paulo, com Latossolo Vermelho, contendo 52% de argila, com textura argilosa (Embrapa, 2013). A segunda área (A2) localizada no município de Guariba, em Latossolo Vermelho, contendo 20% de argila, com textura franco-arenoso (Embrapa, 2013). A terceira área (A3) localizada no município de Guariba, sendo o solo classificado como Argissolo Vermelho (Embrapa, 2013), contendo cerca de 15% de argila, com textura arenosa.

Em seguida em cada área foram estabelecidas malhas de 40 x 55 m onde o solo foi amostrado na profundidade de 0,0-0,10 m nos pontos de cruzamento com espaçamentos regulares de 10 x 5 m. Foram realizadas as seguintes análises pH (CaCl₂), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), disponibilidade de P resina, a acidez potencial (H+Al), boro (B), enxofre (S), ferro (Fe), Manganês (Mn) e zinco (Zn), matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds) e das partículas (Dp), macro e microporosidade, porosidade total (Pt) conforme metodologia da Embrapa (2011).

Foi realizada uma análise de fatores que permite relações entre um conjunto de variáveis a serem explicadas em termos de um número limitado de novas variáveis e, optou-se por utilizar a extração por componentes principais (Jeffers, 1978) e utilizou-se o método de rotação ortogonal denominado Varimax (Hoffmann, 1992).

A análise de fatores foi complementada com a de componentes principais (ACP). Esta análise possibilita avaliar como os atributos interagem

qualitativamente ao mesmo tempo, cujos valores originais foram normalizados para média igual 0 e variância igual a 1, a fim de compor as variáveis utilizadas na ACP (Hair et al. 2005). A partir destes dados, pode-se estabelecer os atributos químicos considerados potenciais indicadores de mudanças ambientais.

A partir do conhecimento da interação entre os atributos e os solos cultivados com cana-de-açúcar, estes foram avaliados pela análise exploratória através da estatística descritiva. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Minitab 14, 2000).

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental será estimado pela equação (2):

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

em que: N(h) é o número de pares de pontos medidos das variáveis regionalizadas Z(xi), Z(xi + h), separadas por um vetor h.

Com base nos parâmetros dos semivariogramas experimentais dos atributos do solo foi construído o semivariograma escalonado. Os semivariogramas experimentais foram escalonados através da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Vieira et al., 1997). Com as semivariâncias adimensionalizadas, o efeito pepita expressa diretamente, em porcentagem do patamar (semivariância total), o componente do acaso da estrutura de variância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de fatores (Tabela 1) verificou-se que os dois primeiros fatores explicaram 56,03% da variância total dos dados, e mostrou que os atributos macroporosidade, P resina, K, S, B, Fe e Mn não apresentaram cargas fatoriais elevadas. A Ds, Pt, microporosidade, MO, Ca, H+Al, Cu e Zn foram os atributos mais relevantes para a determinação do Fator 1 que explicou 38,27% da variância total. O pH em água, Mg e Al estão relacionados ao Fator 2 que explicou 17,77% da variância total.

A partir do conhecimento de quais variáveis apresentam alto poder discriminatório, realizou-se análise de componentes principais (ACP) (Figura 1). Com o uso da ACP, foi possível explicar 84,97% da variância total nos dois primeiros componentes, e avaliar a interação dos atributos com os manejos estudados. A H+Al, Al, micro, Pt, MO, Cu, Zn, Ca e Mg estão diretamente relacionados a A1, enquanto que a Ds está relacionada a A3, e o pH a A2.

A partir do conhecimento da interação entre os atributos e os solos estudados, estes foram avaliados espacialmente. A maior parte dos atributos apresentou valores próximos da média e

mediana (Tabela 2), indicando distribuição próxima a normal, a qual é considerada aceitável em estudos geoestatísticos (Gonçalves & Folegatti, 2002). Porém, alguns atributos apresentaram esses valores afastados de zero, indicando distribuição assimétrica, sendo estes confirmados pelos maiores valores de assimetria.

Tabela 1. Fatores extraídos por componentes principais, destacando os atributos com cargas superiores a 0,7 (módulo) para os solos com diferentes texturas.

Variáveis	Profundidade 0,0-0,10 m	
	Fator 1	Fator 2
Densidade do solo	0.861968	0.043909
Porosidade total	-0.926229	-0.036801
Microporosidade	-0.953588	0.082778
Macroporosidade	-0.160035	-0.285808
P Resina	-0.006541	-0.155648
Matéria orgânica	-0.930802	0.149600
pH em água	0.266744	0.875900
Potássio	0.292314	-0.161391
Cálcio	-0.754539	0.543900
Magnésio	-0.332793	0.889085
Acidez potencial	-0.772458	-0.535097
Alumínio	-0.223064	-0.796270
Enxofre	0.126804	-0.384161
Boro	0.054475	0.053014
Cobre	-0.964832	0.042512
Ferro	-0.000999	-0.294962
Manganês	-0.672070	-0.140952
Zinco	-0.775414	-0.026000
Autovalores	6.888286	3.198093
% da variância total	38.26826	17.76719
Autovalores cumulativo	6.88829	10.08638
% Cumulativa	38.26826	56.03544

Os valores de CV para a classificação de variáveis do solo indicam baixa, média e alta variabilidade ((Warrick & Nielsen, 1980) para os atributos nas áreas estudadas (Tabela 2). Observa-se, que A2 e A3 apresentam uma maior quantidade de variáveis com CV alto, o que indica alta variabilidade destes atributos nestas áreas

Os atributos físicos e químicos estudados apresentaram dependência espacial, sendo este comportamento expresso pelos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 2). Modelos esféricos foram ajustados aos semivariogramas escalonados para todas as áreas. Isaaks & Srivastava (1989) descrevem que os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância. Todos os ambientes em estudo apresentaram grau de dependência espacial moderado (Cambardella et al., 1994).

Os valores de alcance são importantes medidas no planejamento e na avaliação experimental, uma vez que este pode auxiliar na definição dos procedimentos de amostragem (McBratney & Webster, 1983). Este parâmetro representa a máxima distância em que os pontos amostrais estão

correlacionados entre si. O valor de alcance foi menor na área 3 (34 m) e maior na área 1 (37 m) (Figura 2). Estes valores de alcance fornecem informações a respeito da heterogeneidade da distribuição espacial em relação às propriedades estudadas (Trangmar et al., 1985). Portanto, o menor valor de alcance encontrado para a área 3, indicam maior variabilidade dos dados.

CONCLUSÕES

A análise multivariada possibilitou selecionar os atributos que mais contribuem para a variabilidade e suas relações com as áreas estudadas, e com isso, verificou-se que a área com textura arenosa apresentou maior variabilidade dos dados, com menor valor de alcance.

REFERÊNCIAS

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 Soil. Soil Science Society of America Journal, 58:1501-1511, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo, para fins de manejo de irrigação. Engenharia Agrícola, 22(3):296-303, 2002.

HOFFMANN, R. Componentes principais e análise fatorial. Piracicaba: Departamento de Economia e Sociologia Rural. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1992. 25p. (Série Didática n. 76).

JEFFRS J.N.R. An Introduction to System Analysis: with Ecological. Applications. E. Arnold Publ., London, 1978.198p.

HAIR J. R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. Porto Alegre. 2005. 211p.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

LOURENTE, E R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S. & NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. Pesquisa Agropecuária Tropical. 41:20-28, 2011.

McBRATNEY, A. B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. Soil Science, 135:177-183, 1983.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição de sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 15:369-374, 1991.

MINITAB RELEASE 14.1. Statistical Software. US/ Canadá. 2000.

PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, A. W.; CUNHA, J. L. X. L.; PAES, R. A.; CAVALCANTE, M. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. Caatinga. 22:78-84, 2009.

VIEIRA, S.R.; TILLOTSON, P.M.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 21:525-33, 1997.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R.; Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, 1980. p. 319-344.

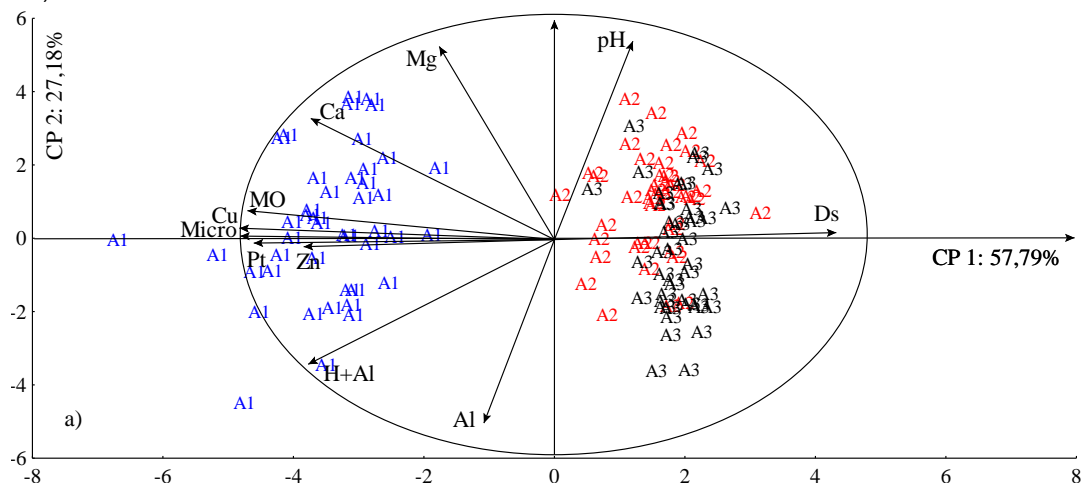


Figura 1. Análise de componentes principais dos atributos com alto poder discriminatórios para solos com diferentes texturas. a)= profundidade 0,0-0,10 m; A1= área com textura argilosa; A2= área com textura média; A3= área com textura arenosa; Ds= densidade do solo; Micro= microporosidade; MO= matéria orgânica; pH= pH em água; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; H+Al= Acidez potencial; Al= Alumínio; Cu= Cobre; Zn= Zinco.

Tabela 1. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas dos atributos do solo com alto poder discriminatórios para solos com diferentes texturas.

Estatística	Ds	Pt	Micro	MO	pH	Ca	Mg	H+Al	Al	Cu	Zn
Área 1											
Média	1,35	53,14	26,36	29,00	4,79	27,64	11,50	49,34	2,98	3,15	1,32
Mediana	1,37	52,45	26,50	29,00	4,65	26,00	11,00	52,00	2,20	3,10	1,10
DP	0,01	16,98	2,38	9,63	0,18	35,54	7,28	157,76	8,94	0,14	0,73
Variância	0,12	4,12	1,54	3,10	0,42	5,96	2,70	12,56	2,99	0,37	0,85
CV (%)	0,09	0,08	0,06	0,11	0,09	0,22	0,23	0,25	1,00	0,12	0,65
Assimetria	0,05	-0,06	0,04	0,94	1,10	0,53	0,09	-0,45	2,07	0,45	3,55
d	0,10*	0,11*	0,07 ^{ns}	0,18*	0,20*	0,13*	0,12*	0,13*	0,23*	0,12*	0,24*
Área 2											
Média	1,59	41,20	15,65	12,80	5,21	15,11	10,52	24,30	1,61	0,69	0,27
Mediana	1,60	40,56	15,86	13,00	5,20	15,00	10,50	24,00	0,85	0,70	0,20
DP	0,01	15,77	1,86	5,61	0,19	10,43	5,23	30,91	2,38	0,01	0,01
Variância	0,11	3,97	1,37	2,37	0,43	3,23	2,29	5,56	1,54	0,12	0,09
CV (%)	0,07	0,10	0,09	0,19	0,08	0,21	0,22	0,23	0,96	0,18	0,35
Assimetria	-0,51	0,55	0,46	0,40	0,18	0,84	0,23	0,62	1,49	1,67	1,46
d	0,12*	0,11*	0,13*	0,12*	0,11*	0,17*	0,11*	0,16*	0,27*	0,25*	0,33*
Área 3											
Média	1,66	40,61	12,92	9,32	4,81	14,34	7,70	31,23	2,57	0,67	0,32
Mediana	1,66	40,64	13,05	9,00	4,70	14,50	8,00	32,00	1,95	0,70	0,30
DP	0,01	5,49	1,52	7,71	0,21	29,95	9,33	29,85	4,04	0,02	0,02
Variância	0,08	2,34	1,23	2,78	0,45	5,47	3,05	5,46	2,01	0,15	0,13
CV (%)	0,05	0,06	0,10	0,30	0,09	0,38	0,40	0,17	0,78	0,23	0,40
Assimetria	-0,83	1,14	-0,37	1,26	0,68	0,55	0,43	0,12	0,87	0,57	2,44
d	0,10*	0,11*	0,09 ^{ns}	0,15*	0,14*	0,08 ^{ns}	0,11*	0,13*	0,19*	0,19*	0,23*

DP= Desvio padrão; CV(%) = Coeficiente de Variação; d= Teste de normalidade a 5 % de probabilidade, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; Micro= Microporosidade; Pt= Porosidade Total; H+Al = acidez potencial; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al= alumínio; Cu= cobre; Zn= zinco; * = significativo; ns= não significativo.

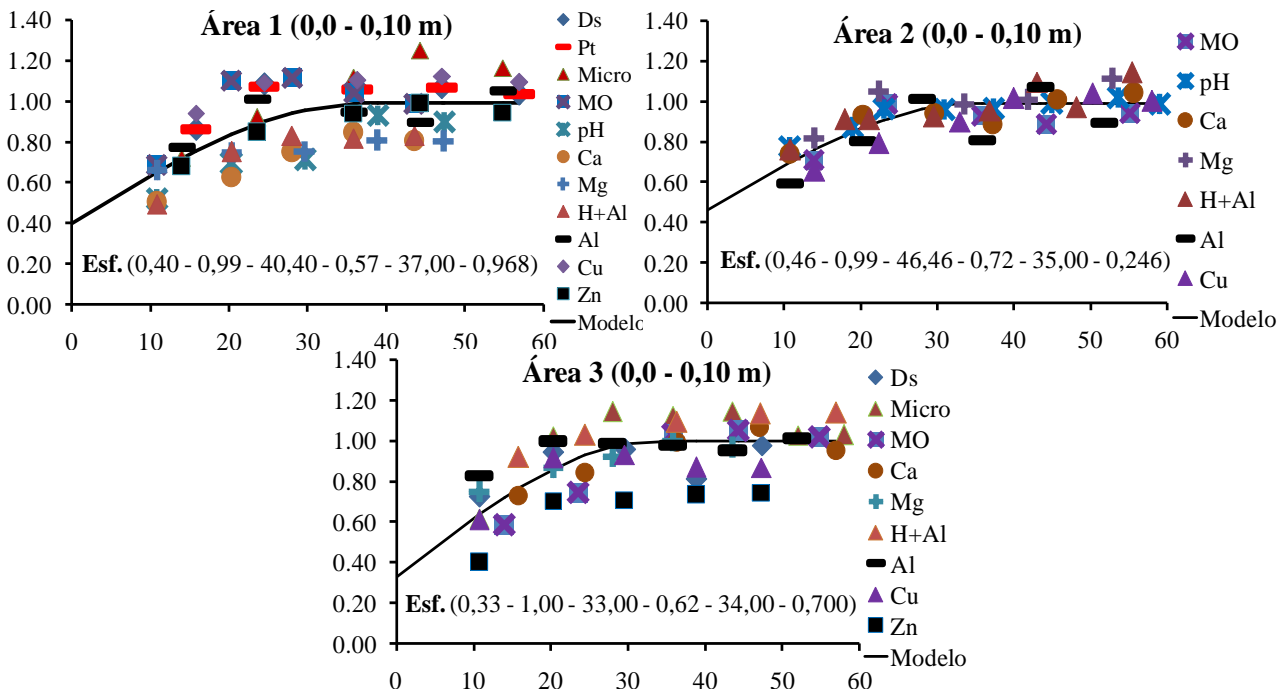


Figura 2. Semivariogramas escalonados ajustados aos atributos dos solos com alto poder discriminatórios para os solos com diferentes texturas. Esf = esférico; [modelo (efeito pepita - patamar - GDE - R^2 - alcance - Resíduo)]. GDE = grau de dependência espacial; R^2 = coeficiente de determinação.