

## Continuidade espacial de Alumínio e Cálcio em um Gleissolo Háplico

**João Fernandes da Silva Junior<sup>(1)</sup>; Rômulo José Alencar Sobrinho<sup>(2)</sup>; Sueny Kelly Santos de França<sup>(3)</sup>; Gener Tadeu Pereira<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo); Universidade Estadual Paulista/FCAV; Jaboticabal, SP; E-mail: joaojsilva@yahoo.com.br; <sup>(2)</sup> Mestre em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas); Universidade Federal Rural da Amazônia/Ufra; Belém, PA; E-mail: ralencar@yahoo.com.br; <sup>(3)</sup> Mestre em Agronomia (Produção Vegetal); Universidade Federal Rural da Amazônia/Ufra; Belém, PA; E-mail: sueny@yahoo.com.br; <sup>(4)</sup> Prof. Dr. do Depto de Ciências Exatas; Universidade Estadual Paulista/FCAV; Jaboticabal, SP; E-mail: gtpereira@unesp.fca.com.br

**RESUMO:** Os cientistas do solo já estão convencidos da variabilidade dos solos. Assim, deve-se caracterizar a variabilidade espacial dos teores de  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ , para melhor manejar a correção da acidez trocável e aumentar os teores de cálcio em zonas específicas. Objetivou-se avaliar a continuidade espacial de  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$  em um Gleissolo. A área de estudo em Belém/PA, sob preparo convencional com arroz irrigado. Instalou-se uma grade amostral de 56 pontos distanciados de 1,5 x 1,5 m, onde se amostraram na profundidade de 0,20m. Em seguida determinaram-se os teores de alumínio e de cálcio. Realizou-se a análise estatística descritiva, posteriormente a variográfica, definindo e qualificando a dependência espacial e confeccionando mapas de distribuição espacial dos teores. Com esses mapas podem-se definir estratégias de aplicação de insumos e corretivos localizados, além de informações sobre esquemas de futuras amostragens do solo. Observou-se estrutura de dependência espacial para os teores de  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ , e um índice de dependência espacial forte e médio, respectivamente. A krigagem ordinária é eficiente para definição de zonas homogêneas de manejo de  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ .

**Termos de indexação:** geoestatística, várzea, atributos químicos do solo.

### INTRODUÇÃO

Grande parte da população ribeirinha do Estado do Pará utilizam os solos de várzeas para o cultivo de culturas temporárias como: arroz, pois geralmente apresentam boa capacidade produtiva, devido possui alta fertilidade natural, devido a influências das marés de equizígea que depositam sedimentos em diversos tamanhos e pesos.

No entanto, torna-se necessário pesquisas detalhadas nesses ambientes, sobretudo caracterizar espacialmente os atributos dos solos para potencializar a produção agrícola.

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico

para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala. Experimentos de campo são, em sua maioria, divididos em parcelas ou áreas relativamente pequenas amostradas aleatoriamente.

Contudo, ao considerar as parcelas experimentais uniformes quanto aos seus atributos, mesmo em pequenas áreas, podem-se interpretar erroneamente as respostas obtidas às questões existentes, pois a hipótese de ocorrência de dependência espacial estará sendo ignorada.

Tornando-se imprescindível caracterizar espacialmente as propriedades dos solos. Pois é importante destacar que estatística clássica e a geoestatística, ou estatísticas espaciais se completam (Reichardt, 1986).

A caracterização da variabilidade espacial em dados de solo foi realizada desde os primeiros trabalhos de (Burgess & Webster, 1980; Vieira, 1981).

Porém, pouco se conhece dos padrões espaciais de solos de ambientes de várzea. Pois quando se tem o conhecimento desses padrões espaciais, facilitam o manejo dos solos, tornando-se possível determinar zonas específicas de manejo.

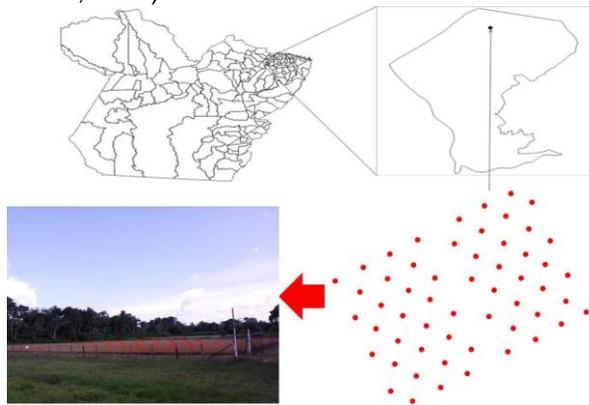
A análise geoestatística que permite detectar a existência de dependência e apresentar a distribuição espacial das medidas estudadas, constitui de uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (Vieira, 2000). Os altos teores de alumínio podem proporcionar toxidez, e a deficiência de cálcio restringem o desenvolvimento das raízes das culturas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a continuidade espacial de Alumínio e Cálcio em um Gleissolo, sob arroz irrigado em uma parcela experimental para definir zonas específicas de manejo.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Belém-PA, onde se encontrava um experimento com arroz irrigado sob preparo convencional, em um Gleissolo Háplico (Embrapa, 2006). Marcou-se uma parcela

de 175 m<sup>2</sup>, com declividade de aproximadamente de 2 %, a amostragem foi realizada em uma grade amostral de 56 pontos distanciados de 1,5 x 1,5 m (**Figura 1**). Em cada ponto foram coletadas amostras de solo deformadas para determinações em laboratório na camada de 0-0,2 m de profundidade, todos os pontos foram georreferenciados com um Sistema de posicionamento Global Diferencial (DGPS) Hipper, e em seguida as coordenadas foram corrigidas com pos-processamento, conforme a metodologia do (INCRA, 2010):



**Figura 1** – Mapa de localização e área experimental.

As amostras foram enviadas para o Laboratório de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia, para determinação dos teores de alumínio (Al<sup>3+</sup>) e cálcio (Ca<sup>2+</sup>), conforme Embrapa (1997).

### Análise estatística e geoestatística

Inicialmente, a variabilidade dos dados foram avaliados pela estatística descritiva, obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose, para se ter uma visão geral sobre a variabilidade dos dados e auxiliar na decisão de hipótese de estacionariedade.

Posteriormente a dependência espacial dos teores de Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> foram avaliadas por meio de ajuste de modelos matemáticos aos semivariogramas experimentais, com base na pressuposição da estacionariedade da hipótese intrínseca, (Vieira, 2000), podendo ser estimado por:

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

em que,  $\hat{\gamma}(h)$  é o valor da semivariância para a distância  $h$  e  $N(h)$  é o número de pares de pontos  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$  separados pela distância  $h$ , e  $x_i$  é a

posição espacial da variável  $Z$ . O semivariograma experimental é representado pelo gráfico de  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ . A partir do ajuste de um modelo matemático ao semivariograma experimental, foram estimados os coeficientes do modelo teórico do semivariograma: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ) e alcance ( $a$ ). Como a continuidade espacial depende da direção foram calculados os semivariogramas experimentais em pelo menos em quatro direções (0°, 45°, 90°, 135°) para verificar presença de anisotropia.

Foi calculada a razão entre o efeito pepita e o patamar  $(C_0)/(C_0+C_1)*100$  chamado de índice de dependência espacial (IDE). E classificado como forte se IDE<25%, moderado se o IDE estiver entre 25% e 75% e fraco se IDE>75% Cambardella et al., 1994).

Após a modelagem aos semivariogramas experimentais e se for determinada a dependência espacial pode-se estimar os teores de Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> em posições geográficas onde não foram amostradas e confeccionar mapas da distribuição espacial por meio da krigagem ordinária (KO) em função dos dados amostrais correlacionados (Webster & Oliver, 2009), A KO é um interpolador ótimo sem tendência e variância mínima, que pode ser estimada por:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i),$$

sendo que  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa da KO no ponto não amostrado  $x_0$ ,  $z(x_i)$  os valores medidos nos pontos vizinhos  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$  e  $\lambda_i$  os pesos da krigagem estimados a partir do sistema de equações da krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A (**Tabela 1**) resume as estatística descritiva e assunção de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os atributos estudados. Mostraram não suportaram a hipótese de normalidade das amostras dos teores de Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup>.

Os teores de alumínio e cálcio foram valores médios segundo (EMBRAPA 2006).

Os coeficientes de variação de Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> foram 0,28 e 0,20, respectivamente classificados como baixo de acordo com (Warrick & Nielsen 1980). Esta baixa variabilidade pode esta relacionada com o histórico da área a mais de 25 anos sendo cultivada como arroz irrigado e logo após a colheita a biomassa é incorporada ao solo, sendo que esta

área não há registro do uso de fertilizantes.

**Tabela 1** – Estatística descritiva dos teores de Alumínio e Cálcio

*Atr.	Min.	Máx.	Méd.	Var.	C.V	Ass	K	p
	----- cmolc.dm <sup>-3</sup> -----							
Al <sup>3+</sup>	0,2	4,0	2,7	0,64	0,28	.1,55	1,0	0,01
Ca <sup>2+</sup>	0,3	0,8	0,6	0,01	0,20	0,33	1,0	0,01

\*atributo; Min=mínimo; Máx=máximo; Méd=Média; Var=variância; C.V=coeficiente de variação; Ass=Assimetria; K=curtose; p=valor de p do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

Os modelos matemáticos ajustados ao semivariograma experimentais pelas técnicas geoestatísticas mostraram estrutura de dependência espacial para os atributos, sendo que o modelo que melhor se ajustou foi o esférico. Os valores de alcance foram de 6,91 e 5,34 m para o Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, respectivamente (**Tabela 2**), com um índice de dependência espacial (IDE) 24,46 para Al<sup>3+</sup> e 33,66 para Ca<sup>2+</sup>, sendo considerado forte e moderado, respectivamente, conforme (Cambardella et al., 1994).

**Tabela 2** – Parâmetros dos modelos esféricos isotrópicos ajustados aos semivariogramas experimentais dos teores de Alumínio e Cálcio

*Atr	<sup>(1)</sup> C <sub>0</sub>	<sup>(1)</sup> C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	<sup>(3)</sup> a	<sup>(4)</sup> R <sup>2</sup>	<sup>(5)</sup> SQR	<sup>(6)</sup> IDE	<sup>(7)</sup> CVC	
							b	a
Al <sup>3+</sup>	0,158	0,59	6,91	0,67	0,97	24,46	-0,02	1,0
Ca <sup>2+</sup>	0,004	0,01	5,34	0,13	0,83	33,66	0,06	0,9

atributos; <sup>1</sup>efeito pepita; <sup>2</sup>patamar; <sup>3</sup>alcance; <sup>4</sup>coeficiente de determinação; <sup>5</sup>soma do quadrado do resíduo; <sup>6</sup>índice de dependência espacial (%); <sup>7</sup>coeficientes da validação cruzada.

Observa-se que nos mapas de distribuição espacial de Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> onde se podem notar zonas com os diferentes teores desses elementos (**Figura 2**), estes locais de podem ser manejados de maneira localizados, pois onde tiver maiores teores aumenta a atividade do alumínio na solução do solo e, conseqüentemente, ocorre a potencialização dos efeitos nocivos e deletérios desse elemento às culturas (Kochhann et al., 1999).

Os mapas de mostram uma relação inversa não muito evidente dos teores deste elemento. Esta relação poderia ser mais evidente com outros fatores como a saturação por base por exemplo. Entretanto, pode-se fazer uso desses mapas para neutralização do alumínio trocável e/ou elevação dos teores de cálcio localizada.

Outro fator importante, é que esses mapas geram informações espaciais que podem otimizar

esquemas de amostragem e alocação de parcelas experimentais para obtenção de resultados mais precisos.

Segundo (Grego & Vieira, 2005) inferir amostragem ao acaso resultaria em interpretações incorretas e falhas, sem considerar a dependência espacial das propriedades do solo esconderia a variabilidade encontrada na área amostrada, pois não é o tamanho que determina seu grau de homogeneidade.

## CONCLUSÕES

Os teores de Alumínio e Cálcio apresentam estrutura de dependência espacial.

Os mapas de krigagem ordinária são eficientes para definição de zonas homogêneas de manejo dos teores de alumínio e cálcio no solo.

## REFERÊNCIAS

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. *Journal of Soil Science, Oxford* 31, p. 333-341, 1980.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R. F. KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 2006. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

GREGO, C. R. & VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais: aplicada à Lei 10.267. Brasília, DF, 2010. 86p.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.FAGANELO, A. Adução profunda no sistema de plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPÉCTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM

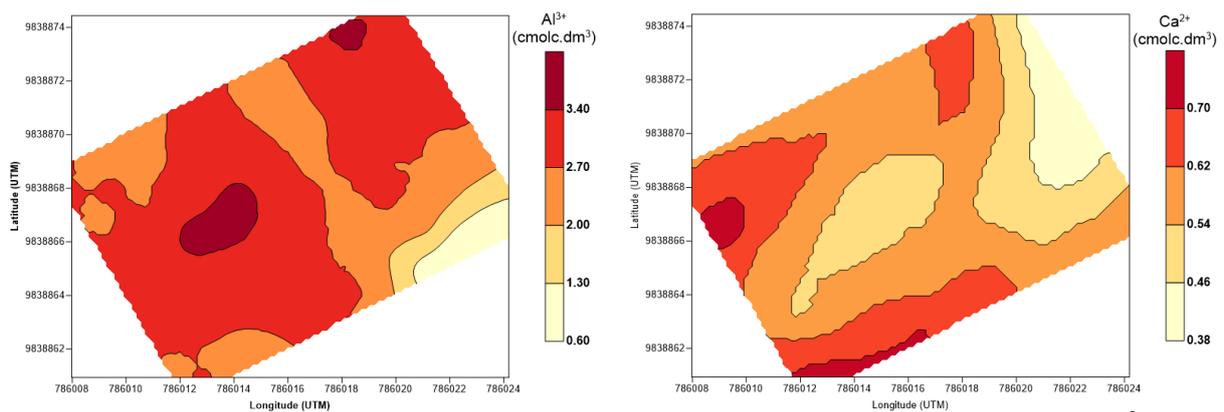
PLANTIO DIRETO, 3., Passo Fundo, 1999. Resumos de palestras: fertilidade do solo em plantio direto, 1999. p. 67-69.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R. & LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo Revista Brasileira de Ciência do Solo, 10:1-6, 1986.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration-rate. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SEHAFFER, C. E. G. R., ed. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-53.

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



**Figura 2** – Mapa de contorno da continuidade espacial dos teores de alumínio Al (cmolc.dm<sup>-3</sup>), cálcio e magnésio (cmolc.dm<sup>-3</sup>), na profundidade de 0,0-0,20 m.