

# Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem

Gustavo Soares de Souza<sup>1\*</sup>, Julião Soares de Souza Lima<sup>2</sup>, Samuel de Assis Silva<sup>1</sup> e Rone Batista de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil. <sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: gsdsouza@hotmail.com

**RESUMO.** Estudos mostram a importância de se conhecer a variabilidade dos atributos do solo para o manejo mais eficiente. O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espacial dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com pastagem de *Brachiaria decumbens*, em Alegre – Espírito Santo. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-0,2 m, nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 10 m, perfazendo o total de 64 pontos. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística e interpolação por krigagem ordinária. Os valores dos coeficientes de variação apresentaram-se baixos para pH, altos para Al e m% e médios para os demais atributos. Os atributos pH, P, H+Al e m% apresentaram forte dependência espacial e os demais, moderada dependência. Todos os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento com técnicas de geoestatísticas.

**Palavras-chave:** dependência espacial, geoestatística, krigagem.

**ABSTRACT.** Spatial variability of chemical attributes in an Ultisol under pasture.

Studies show the importance of knowing the variability of soil attributes for a more efficient management. This work was carried out to evaluate the spatial variability of the chemical attributes of an Ultisol, cultivated with *Brachiaria decumbens* pasture in Alegre - ES. Soil samples were collected at a depth of 00-0.2 m, at the crossing points of a regular grid with 10 m-intervals, comprising a total of 64 points. Data were submitted to descriptive statistics, geostatistics and kriging interpolation analysis. The coefficient of variation was low for pH, high for Al and m%, and medium the other attributes. The attributes pH, P, H+Al and m% presented strong dependence, and the other moderate dependence. The attributes presented a spatial dependence structure, allowing their mapping by geostatistics techniques.

**Key words:** spatial dependence, geostatistics, kriging.

## Introdução

As pastagens, na região sul do Estado do Espírito Santo, são localizadas em áreas oriundas de vegetação natural, com declividade acentuada. Estas áreas são conduzidas sem um manejo eficiente, normalmente, sem rotação e com excesso de unidades de animais, praticando pastejo intensivo. Nestes casos, é comum a presença de camadas compactadas pelo pisoteio dos animais, proporcionando menor infiltração da água de chuvas e, com isso, maior escoamento superficial favorecido pela declividade e presença de pouca massa verde na superfície, promovendo o arraste de partículas e, conseqüentemente, empobrecimento na fertilidade do solo (Sattler, 2006). Estas pastagens se encontram com baixo rendimento e, em sua grande maioria, são

consideradas como áreas degradadas.

A variabilidade espacial dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. A variabilidade de atributos do solo é preocupação antiga e, ainda hoje, diversos autores se dedicam a pesquisar os efeitos dessa variação (Carvalho *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2003; Souza *et al.*, 2004), já que esta pode afetar decisivamente os resultados em pesquisas.

Os diversos atributos químicos do solo se comportam de forma bastante diferenciada, ao longo das diversas formas de relevo, pelas alterações provocadas pelo manejo agrícola, e ainda pelos processos erosivos. Silva e Chaves (2001) comentaram que os atributos químicos apresentam

maior variação que as propriedades físicas em uma área cultivada, sendo assim, o uso de uma amostragem aleatória, que utiliza a média para caracterizar determinado atributo no solo, seriam insuficiente para caracterizar toda uma classe de solo.

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode melhorar a eficiência da aplicação de corretivos e fertilizantes, aperfeiçoando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas, e, ainda, reduzindo possíveis impactos ao meio ambiente (Souza et al., 2004). Estes estudos utilizam a geoestatística para caracterizar tal variabilidade, indicando que ela não é puramente aleatória, mas apresenta correlação ou dependência espacial (Carvalho et al., 2003; Silva et al., 2003). Silva et al. (2003) relataram que a geoestatística é uma ferramenta utilizada para estudar a variabilidade espacial, o que possibilita a interpretação dos resultados, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem.

O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com pastagem, utilizando técnicas de estatística clássica e geoestatística.

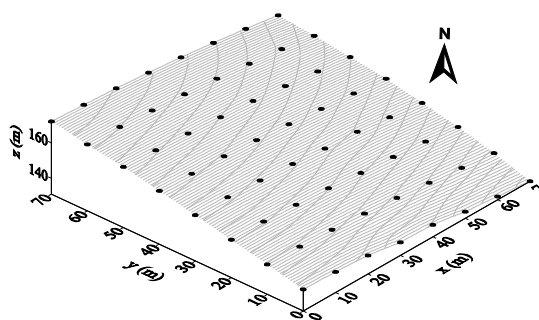
## Material e métodos

A área de estudo localiza-se na bacia hidrográfica do Itapemirim, subbacia do Córrego Horizonte, na área da Escola Agrotécnica Federal de Alegre - EAFA, situada no distrito de Rive, Município de Alegre, a sudoeste do Estado do Espírito Santo, numa altitude média de 150 m.

A área de pastagem escolhida para instalação do experimento situa-se na face sudeste de uma encosta, no terço médio da rampa, formando basicamente um compartimento homogêneo com pedoforma convexa (Figura 1). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa (Embrapa, 1999).

As amostras de solo foram coletadas com um trado tipo sonda, nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 10 m, perfazendo um total de 64 pontos, na profundidade de 0-0,2 m. Na marcação dos pontos, foram utilizados equipamentos de topografia e instrumentos de georreferenciamento (GPS). A malha construída está nas coordenadas geográficas 20° 45' 59,6" S e 41° 27' 30,0" W, com declividade da área variando entre 30 a 45 graus. A área experimental é cultivada há,

aproximadamente, 6 anos com pastagem de *Brachiaria decumbens*, em substituição à pastagem nativa de pernambuco (*Paspalum maritimum*), após revolvimento do solo com aração em nível, utilizando arado de aiveca de tração animal e correção da acidez com calcário dolomítico somente na época de plantio. O sistema de pastejo é extensivo, com uma média anual de 1,0 UA ha<sup>-1</sup> (unidade animal por hectare), sendo a maior concentração observada nos períodos de chuva, podendo chegar a 3,0 UA ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** Modelo digital de elevação (MDE) da área em estudo, com a distribuição espacial dos pontos amostrais.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm, caracterizando terra fina seca ao ar (TFSA) e encaminhadas para análise no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

Os atributos químicos estudados foram: acidez ativa (pH em água), fósforo (P disponível), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), alumínio (Al<sup>3+</sup>), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC efetiva), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), conforme Embrapa (1997).

Os valores encontrados foram analisados por meio da análise da estatística descritiva pelas das medidas de posição, dispersão e uma análise exploratória dos dados, bem como o teste de Shapiro-Wilks, a 5% de probabilidade, para testar a normalidade, utilizando o *software* Statistica 6.0 (Statsoft, 2001). A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial dos valores dos atributos químicos, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais (Equação 1), com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca. (Vieira et al., 1983).

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

em que:

$N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ , separados por um vetor  $h$ .

No ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, determinou-se os coeficientes efeito pepita ( $C_0$ ), variância estrutural ( $C_1$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e alcance ( $a$ ) pelo *software* GS+ (Robertson, 1998). Para análise do índice de dependência espacial (IDE), foi utilizada a relação  $C_1/(C_0 + C_1)$  e os intervalos propostos por Zimback (2001) que considera: dependência espacial fraca (IDE < 25%); moderada (25% ≤ IDE < 75%) e forte (IDE ≥ 75%).

Para o ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, utilizou-se o *software* GS+, que aplica a metodologia dos mínimos quadrados e adota, como critérios para a seleção, o maior valor de  $R^2$  (coeficiente de determinação), a menor SQR (soma de quadrado dos resíduos) e o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada (Guimarães, 2000).

Em seguida, os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados, de acordo com Vieira (1998), facilitando as interpretações e comparações entre semivariogramas de diferentes atributos, uma vez que assumem valores em uma escala padronizada.

Conhecendo-se os semivariogramas teóricos, interpolaram-se, pelo método da krigagem ordinária, os valores dos atributos em locais não amostrados, gerando os mapas temáticos.

## Resultados e discussão

Na Tabela 1, constam os resultados da análise exploratória dos valores encontrados para os atributos em estudo. A ocorrência de valores de assimetria negativa para os atributos pH, H + Al e V%, indica que, nestes casos, houve tendência para concentração de valores maiores que a média. A maioria dos atributos

apresentou assimetria positiva, com mediana menor que a média, mostrando, assim, a tendência para concentração de valores menores que a média. A maioria dos atributos apresentou distribuição de frequência platicúrtica, ou seja, com curtose negativa, indicando maior variabilidade, uma vez que foram observados valores mais distribuídos ao longo do eixo  $x$ , no gráfico de distribuição de frequência.

A média e a mediana foram similares para 50% dos atributos, caracterizando distribuição normal dos dados, confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk's, a 5% de probabilidade, mesmo para os atributos que apresentaram distribuição de frequência com pequenos desvios da assimetria e da curtose, em relação à distribuição normal. Azevedo (2004) relatou que a normalidade dos dados não é condição necessária para aplicação das técnicas de geoestatística. Assim, segundo Gonçalves *et al.* (2001), a análise exploratória dos dados torna possível admitir, em princípio, estas distribuições como suficientemente simétricas para o estudo geoestatístico.

De acordo com a classificação agrônômica para a interpretação da fertilidade do solo para o Estado do Espírito Santo (Dadalto e Fullin, 2001), os valores médios dos atributos químicos apresentam-se baixos para P (≤ 10,0 mg dm<sup>-3</sup>), K<sup>+</sup> (≤ 30,0 mg dm<sup>-3</sup>), Ca<sup>2+</sup> (≤ 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Al<sup>3+</sup> (≤ 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), SB (≤ 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), CTC (≤ 2,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), V (26,0-50,0 %) e m (≤ 20 %); e médios para os atributos pH (5,1-5,9), Mg<sup>2+</sup> (0,6-1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), H+Al (2,6-5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e T (4,6-10,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

A maioria dos atributos apresentou baixos níveis de fertilidade no solo, na profundidade de 0,0-0,2m, porém, em alguns atributos, foi observada grande amplitude de valores na área, como o Mg<sup>2+</sup>, variando de 0,50 a 1,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Inicialmente, isso indica que, nestes casos, a utilização da média mascara os sítios, com valores relativamente altos na área, como encontrado por Azevedo (2004) em estudo realizado em pastagem.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos químicos do solo, em pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m.

Atributos	$\bar{X}$	Md	s	Valores		CV	Coeficientes		Teste
				Mín.	Máx.		$C_s$	$C_k$	p-valor
pH	5,40	5,44	0,26	4,90	5,90	4,78	-0,14	-1,06	0,013*
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,65	1,00	0,79	1,00	3,00	47,88	0,73	-1,00	0,000*
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	25,52	25,00	7,80	11,00	45,00	30,56	0,54	-0,39	0,043*
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,85	0,80	0,39	0,30	1,90	45,88	0,79	0,47	0,003*
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,98	0,90	0,28	0,50	1,70	28,57	0,35	-0,56	0,052 <sup>ns</sup>
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,24	0,20	0,20	0,00	0,80	83,33	0,87	-0,23	0,000*
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,37	4,37	0,64	2,72	5,94	14,65	-0,11	-0,26	0,837 <sup>ns</sup>
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,93	1,89	0,58	0,85	3,27	30,05	0,20	-0,67	0,406 <sup>ns</sup>
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,17	2,08	0,43	1,25	3,27	19,82	0,48	-0,21	0,202 <sup>ns</sup>
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,29	6,19	0,76	4,87	8,01	12,08	0,23	-0,53	0,479 <sup>ns</sup>
V (%)	30,45	31,06	7,69	14,89	46,80	25,25	-0,14	-0,65	0,376 <sup>ns</sup>
m (%)	12,60	9,27	11,87	0,00	43,03	94,21	0,97	-0,21	0,000*

$\bar{X}$  = média; Md = mediana; s = desvio-padrão; Máx. = máximo; Mín. = mínimo; CV = coeficiente de variação;  $C_s$  = coeficiente de assimetria;  $C_k$  = coeficiente de curtose; <sup>ns</sup> = distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk's, a 5% de probabilidade; \* = distribuição não-normal.

Observou-se o maior coeficiente de variação (CV) para o atributo m% (94,21%) e o menor, para o pH (4,78%). De acordo com Davis *et al.* (1995), o menor CV encontrado para o pH é por ser este uma função logarítmica e, assim, apresenta, naturalmente, pequena variação. De acordo com Warrick e Nielsen (1980), o CV pode ser classificado como baixo, médio e alto, respectivamente, para os intervalos  $CV \leq 12\%$ ,  $12\% < CV < 60\%$  e  $CV \geq 60\%$ . O atributo pH apresentou baixa variabilidade, os atributos  $Al^{3+}$  e m% alta variabilidade, os demais atributos, média variabilidade. Souza *et al.* (2006), estudando atributos químicos do solo, encontraram valores próximos de CV para pH, P,  $K^+$ , CTC e V%.

Conforme descrito por Gonçalves *et al.* (2001) e Lima *et al.* (2007), buscou-se avaliar a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística, utilizando-se a análise gráfica das médias das linhas e colunas, em relação à variância dos atributos. A análise de regressão linear mostrou que, para pH, P,  $Al^{3+}$  e m%, os modelos ajustados foram significativos, a 5% de probabilidade, comprovando presença do efeito proporcional. Nesses casos, realizou-se a análise de tendência, até o nível quadrático, para os eixos x e y e suas interações, no sentido de removê-la e trabalhar com o semivariograma dos resíduos. O procedimento de remover a tendência, ajustando polinômios pelo método dos mínimos quadrados, é razoável, porém, não infalível (Myers, 1989).

Com a modelagem dos resíduos, o fenômeno tendeu a se tornar estacionário, sendo possível a obtenção de melhores ajustes de semivariogramas. Na confecção dos mapas temáticos desses atributos, adicionou-se a tendência aos resíduos. Os parâmetros de ajuste dos semivariogramas, aos dados originais e aos resíduos, são apresentados na Tabela 2.

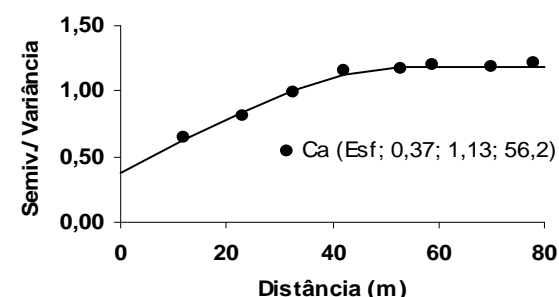
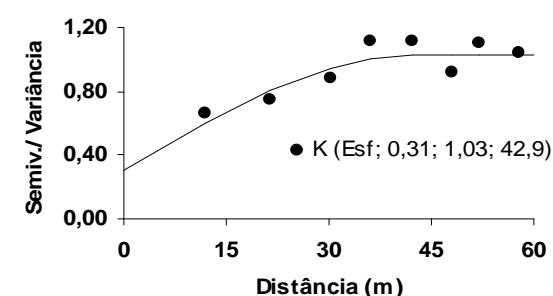
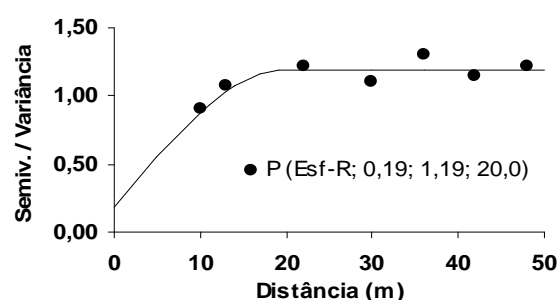
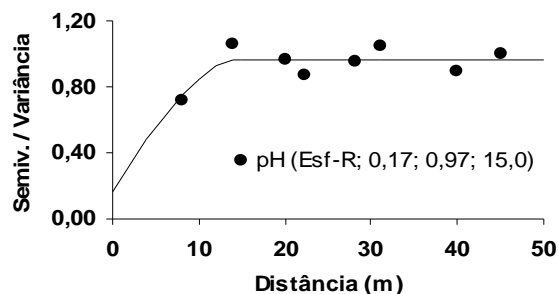
**Tabela 2.** Medidas da análise espacial dos atributos químicos do solo, em pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m.

Atributos	Medidas da análise espacial					
	Modelo	$C_0$	$C_0 + C_1$	a (m)	IDE	$R^2$
pH	Esf-R	0,17	0,97	15,0	81,5	50,0
P (mg dm <sup>-3</sup> )	Esf-R	0,19	1,19	20,0	84,0	71,0
$K^+$ (mg dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,31	1,03	42,9	69,5	74,7
$Ca^{2+}$ (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,37	1,13	56,2	68,9	98,4
$Mg^{2+}$ (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,44	1,05	59,8	58,6	82,1
$Al^{3+}$ (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf-R	0,35	1,18	62,3	70,0	90,0
H+Al (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,12	0,71	29,7	83,6	85,2
SB (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,50	1,12	57,1	55,6	94,0
CTC (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,51	1,08	51,2	53,0	67,7
T (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	Esf.	0,24	0,95	49,0	74,9	89,3
V (%)	Esf.	0,37	1,19	60,7	68,6	93,3
m (%)	Esf-R	0,37	1,13	56,4	67,0	78,5

$C_0$ : Efeito Pepita;  $C_0+C_1$ : Patamar; a: Alcance; IDE: Índice de Dependência Espacial;  $R^2$ : Coeficiente de Determinação; Esf.: modelo esférico e Esf-R: modelo esférico ajustado aos resíduos.

Nas Figuras de 2 a 4, estão apresentados o modelo e os parâmetros dos semivariogramas teóricos, escalonados para os dados originais e os resíduos dos atributos químicos. O modelo ajustado a todos os

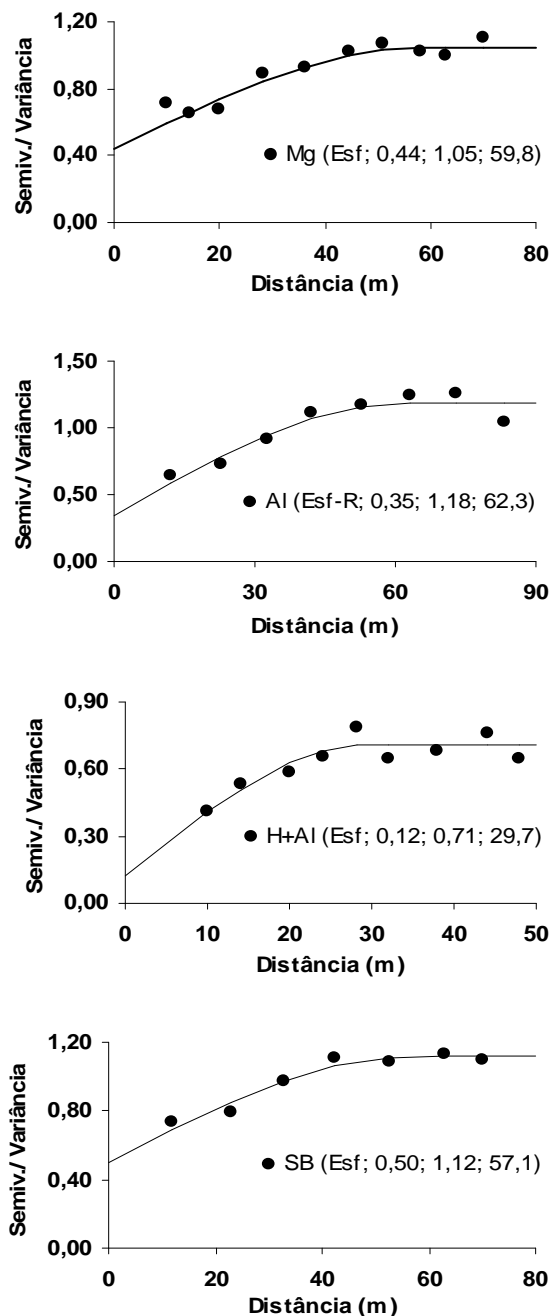
atributos foi o esférico, concordando com Bertolani e Vieira (2001), que comentam ser esse o modelo de maior ocorrência para os atributos do solo.



**Figura 2.** Modelos e parâmetros ( $C_0$ ;  $C_0 + C_1$ ; a) dos semivariogramas, escalonados pela variância dos dados originais e dos resíduos para os atributos químicos do solo (pH, P,  $K^+$  e  $Ca^{2+}$ ), em pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m.

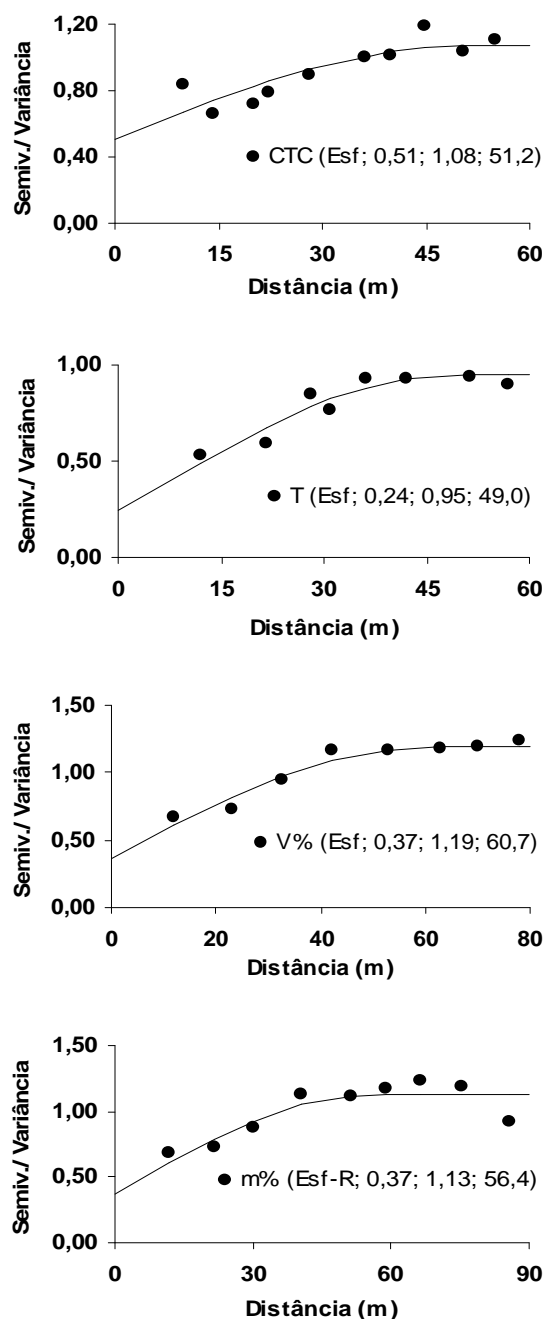
O índice de dependência espacial (IDE) indica moderada dependência para os atributos  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , SB, CTC, T, V% e m%, e forte para pH, P e H + Al, conforme classificação de Zimback

(2001). Azevedo (2004), estudando atributos do solo em pastagem, obteve resultados semelhantes para P, K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>.



**Figura 3.** Modelos e parâmetros (C<sub>0</sub>; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>; a) dos semivariogramas, escalonados pela variância dos dados originais e dos resíduos para os atributos químicos do solo (Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H + Al e SB), em pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m.

O alcance (a) é uma medida importante, uma vez que pode auxiliar na definição de práticas de amostragem, ou seja, pontos coletados em uma área circular de raio igual ao alcance são correlacionados



**Figura 4.** Modelos e parâmetros (C<sub>0</sub>; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>; a) dos semivariogramas, escalonados pela variância dos dados originais e dos resíduos para os atributos químicos do solo (CTC, T, V% e m%), em pastagem, na profundidade de 0,0-0,2 m.

e, acima deste, são independentes, podendo utilizar a estatística clássica para o estudo dos atributos do solo (Vieira, 2000). O maior alcance foi observado para o atributo Al<sup>3+</sup> (62,3 m), indicando maior continuidade espacial e o menor valor para o pH (15,0 m), indicando variação de escala de acordo com o atributo estudado. Os valores de alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, uma

vez que ele determina o número de valores usados na interpolação, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária, utilizando valores de alcances maiores, tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representem melhor a realidade (Corá *et al.*, 2004).

Nas Figuras de 5 a 10 são apresentados os mapas temáticos interpolados, por krigagem ordinária, da distribuição espacial dos atributos na área de pastagem, o que possibilitou identificar regiões heterogêneas, mesmo em uma área de pequena extensão. O que reforça a necessidade de ampliação da malha amostral e da densidade de pontos, de forma a caracterizar a variabilidade espacial dos atributos de toda pastagem, visando à aplicação de corretivos a taxas variáveis.

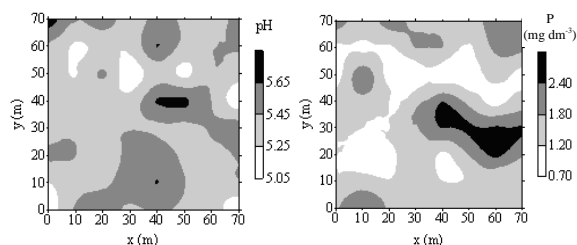


Figura 5. Distribuição espacial do pH e P, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

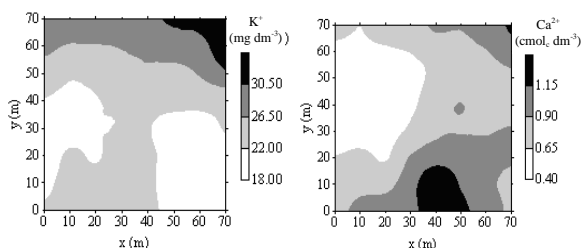


Figura 6. Distribuição espacial do K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

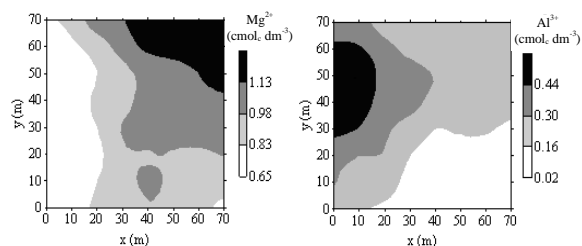


Figura 7. Distribuição espacial do Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

Quanto à forma dos mapas, os atributos Ca<sup>2+</sup> e V% apresentam regiões semelhantes com distribuição espacial. Os maiores valores para esses atributos foram observados na parte inferior da área. Um dos fatores que podem estar influenciando nesse fato é a declividade do terreno, uma vez que ela favorece o arraste superficial de partículas do solo no escoamento da água de chuva, o

que é intensificado por uma cobertura vegetal pouco desenvolvida e por um solo exposto.

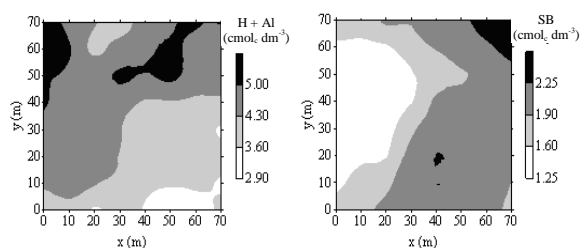


Figura 8. Distribuição espacial do H+Al e SB, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

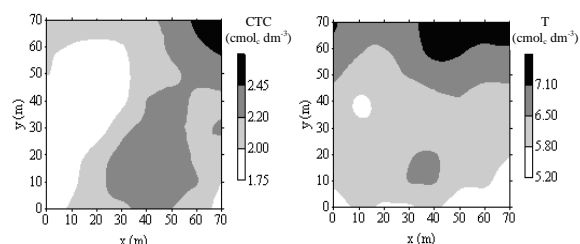


Figura 9. Distribuição espacial do CTC e T, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

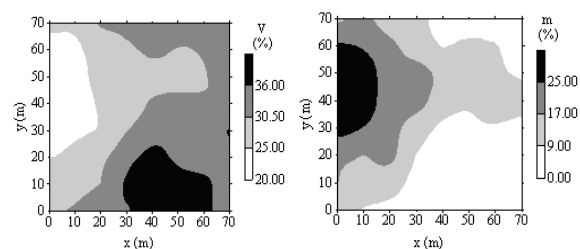


Figura 10. Distribuição espacial dos níveis de V% e m%, na área em estudo, na profundidade de 0,0-0,2 m.

Os atributos K<sup>+</sup> e T apresentam maior continuidade espacial no eixo x e menor no eixo y. Essa menor continuidade espacial no eixo y pode estar relacionada com vários fatores, como a pedoforma, a cobertura do solo, a não aplicação de fertilizantes, o transporte de partículas de solo no escoamento superficial, o que é muito comum em áreas de pastagens mal manejadas. Souza *et al.* (2003) observaram que pequenas variações, na pedoforma, condicionam variabilidade diferenciada em relação aos atributos químicos do solo.

Os maiores valores de Al<sup>3+</sup> e m% foram encontrados nas regiões de menor valor do pH. Isso ocorre porque em pH maior que 5,6, praticamente todo Al<sup>3+</sup> presente no solo é neutralizado (Dadalto e Fullin, 2001), reduzindo também o valor de m%.

Observa-se grande amplitude nos atributos químicos estudados. Esta grande amplitude revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores para o manejo da fertilidade. Para qualquer um desses atributos analisados, é possível

notar que uma amostragem ao acaso, sem levar em consideração o alcance de dependência espacial, falharia em apresentar as variações encontradas.

### Conclusão

Os atributos químicos revelam que o solo sob pastagem, apresenta baixa fertilidade, em função do manejo adotado e do longo tempo sem aplicação de fertilizantes e corretivo.

A estrutura de dependência espacial, para os atributos, foi caracterizada na área de estudo, apresentando a necessidade de remoção de tendência para pH, P, Al<sup>3+</sup> e m%, com o ajuste do semivariograma aos resíduos.

O menor alcance de dependência espacial foi observado para o atributo P e o maior, para o Al<sup>3+</sup>. O maior alcance indica maior continuidade espacial na área, contribuindo para estimativa mais confiável desse atributo, pelo método de krigagem.

A confecção dos mapas, para cada atributo, permitiu visualizar a sua distribuição espacial na área, fato que não ocorre quando se utiliza somente análise da estatística clássica.

### Agradecimentos

Agradeço a Deus, ao orientador, pela oportunidade, e ao CCA-UFES, pela colaboração.

### Referências

- AZEVEDO, E.C. *Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso*. 2004. Tese (Doutorado)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.
- CARVALHO, M.P. *et al.* Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.
- CORÁ, J.E. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. *Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 4º aproximação*. Vitória: SEEA/Incaper, 2001.
- DAVIS, J.G. *et al.* Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 159, n. 5, p. 321-330, 1995.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro:

Embrapa/CNPQSO, 1997.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQSO, 1999.

GONÇALVES, A.C.A. *et al.* Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho, *Acta Sci. Agron.*, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GUIMARÃES, E.C. *Variabilidade espacial de atributos de uma Latossolo Vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional*. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LIMA, J.S.S.L. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. *Eng. Agric.*, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 290-298, 2007.

MYERS, D.E. To be or not to be... stationary? That is the question. *Math. Geol.*, New York, v. 21, n. 3, p. 347-362, 1989.

ROBERTSON, G.P. *GS<sup>+</sup>: geostatistics for the environmental sciences - GS<sup>+</sup> user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.

SATTLER, M. A. *Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo Vermelho Amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim*. 2006. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.

SILVA, V. R. *et al.* Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SOUZA, C.K. *et al.* Variabilidade do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal - SP. *Eng. Agric.*, Sorocaba, v. 23, n. 3, p. 486-495, 2003.

SOUZA, Z.M. *et al.* Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

SOUZA, Z.M. *et al.* Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006.

STATSOFT. *Statística: data analysis software system, version 6*. Tulsa: Stat Soft Inc, 2001.

VIEIRA, S.R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial*. Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. *et al.* (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2000. v.1, cap. 1, p. 1-54.

VIEIRA, S.R. *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In: HILLEL, D. (Ed.). Application of soil physics*. New York: Academic Press, 1980.

ZIMBACK, C.R.L. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo*. 2001. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agronômicas,

Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

*Received on July 06, 2007.*

*Accepted on October 23, 2007.*