



Revista Ciência Agronômica

ISSN: 0045-6888

ccarev@ufc.br

Universidade Federal do Ceará  
Brasil

Soares de Souza, Gustavo; Soares de Souza Lima, Julião; Assis Silva, Samuel de  
Variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem  
Revista Ciência Agronômica, vol. 39, núm. 3, julio-septiembre, 2008, pp. 184-391

Universidade Federal do Ceará  
Ceará, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195317435005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem<sup>1</sup>

### Spatial variability of phosphorus, potassium and liming requirement in an area under pasture

Gustavo Soares de Souza<sup>2,\*</sup>, Julião Soares de Souza Lima<sup>3</sup> e Samuel de Assis Silva<sup>4</sup>

**Resumo** - O objetivo foi analisar a variabilidade espacial dos teores de fósforo, potássio e da necessidade de calagem do solo sob pastagem amostrado de forma regionalizada e comparar esses resultados com os valores obtidos pelo método convencional de amostragem. Realizou-se uma amostragem regionalizada de 64 pontos georreferenciados e espaçados de 10x10 m, e outra de maneira convencional, coletando-se 20 pontos aleatórios, para formar uma amostra composta, para determinação do P, K<sup>+</sup> e NC. As variáveis do solo foram analisadas pela estatística descritiva e, em seguida, pela geoestatística. Ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis em estudo. A razão de dependência espacial (RD) foi classificada em forte para o P e moderada para K<sup>+</sup> e NC. Observou-se nos mapas que o P e o K<sup>+</sup> apresentaram os maiores teores na região central da área e na parte de cima do terreno, respectivamente, e valores da NC reduziram no sentido do declive. Para as variáveis P e K<sup>+</sup> a maior parte da área apresenta teores menores que o indicado na amostragem convencional. Foi observado para a NC que em 63,80% da área, a necessidade de correção de acidez foi maior que a recomendada na forma convencional. A técnica usada proporcionou comparar a amostragem convencional com a regionalizada, sugerindo esse tipo de estudo principalmente em áreas de maior extensão, onde este resultado tende a ser mais evidente.

**Palavras-chave:** Geoestatística. Dependência espacial. Amostragem do solo.

**Abstract** - The objective of this work was to analyze the spatial variability of phosphorus, potassium and of the liming requirement (LR) of a soil under pasture, sampled by the regionalized method and to compare the results with the values obtained by the conventional method of sampling. It was made a regionalizing sampling of 64 georeferenced points, spaced 10x10 m, and another in the conventional way, at 20 random points, to form a composed sample; for both methods, P, K<sup>+</sup> and LR were determined. The variables of the soil were analyzed by the descriptive statistics and, soon afterwards, by the geostatistics. The spherical model was adjusted for all the variables in study. The ratio of spatial dependence (DR) was classified at strong for P and moderate for K<sup>+</sup> and LR. It was observed, on the maps, that P and K<sup>+</sup> presented the highest contents in the center and upslope of the area, respectively, and values of LR were reduced downslope of the area. For the variables P and K, most of the area presents lower contents than suitable, for the conventional sampling method. It was observed for LR that in 63.80% of the area, the need for correction of acidity is larger than recommended in the conventional method. The used technique provided means to compare the conventional sampling method with the regionalizing method, suggesting that this kind of study be done, mainly in areas of larger extension, where the results tend to be more evident.

**Key words:** Geostatistics. Spatial dependence. Sampling of the soil.

\* autor para de correspondência

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 13/12/2007; aprovado em 29/04/2008

Projeto de Pesquisa - Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CCA/UFES, Alto Universitário, Caixa Postal 16, CEP: 29.500-000, Alegre, ES, gsdsouza@hotmail.com

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, D. Sc., Professor do Dep. de Eng. Rural, CCA/UFES, limajss@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CCA/UFES, samuel-assis@hotmail.com

## Introdução

Os solos tropicais apresentam diversos problemas que contribuem para o cenário de baixa produtividade das culturas, sendo este fato, muitas vezes, relacionado à acidez e à baixa fertilidade. A correção da fertilidade é uma prática, no geral, indispensável para as condições dos solos brasileiros, criando condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas, promovendo a diminuição da acidez, redução do efeito de elementos tóxicos e fornecimento de elementos essenciais para o metabolismo das plantas.

A pastagem é um dos principais tipos de vegetação que formam a cobertura dos solos brasileiros. A utilização de áreas com pastagens tem assumido destaque pela elevada proporção de ocupação em relação ao total das áreas agrícolas, e também porque grande proporção das áreas degradadas encontram-se sob pastagens (AZEVEDO, 2004), necessitando de cuidados especiais para que atinjam um potencial produtivo satisfatório. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a área coberta pela pastagem está na dependência direta das condições de clima e solo.

O solo apresenta variabilidade espacial que ocorre tanto em suas características químicas, como nas físicas, mesmo em uma área aparentemente uniforme. Essa variabilidade existente pode ser horizontal e vertical, relacionando-se aos processos de formação, que não ocorrem de forma homogênea no solo, e também ao próprio material de origem, que não apresenta as mesmas características em toda a sua extensão. Outro fato que proporciona variabilidade no solo é o manejo da cultura, ou seja, a forma de cultivo no terreno e o modo de aplicação de insumos (SOUZA et al., 1997).

Para que a amostragem do solo para fins agrícolas represente com exatidão a sua fertilidade, é necessário o conhecimento dessa variabilidade, pois só assim as recomendações de calagem e adubação não estariam comprometidas. Quanto mais heterogêneo for o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas, para que se atinja maior exatidão na avaliação de suas características (SILVEIRA et al., 2000).

Duas formas principais de amostragem experimental podem ser utilizadas: a inteiramente casualizada, na qual cada observação é independente das demais, e a regionalizada, em que a coleta é feita de acordo com um plano espacial determinado. A amostragem casualizada ou convencional é a mais usada pelos proprietários rurais para realização da aplicação de insumos agrícolas, baseada em teores médios da fertilidade do solo, podendo subestimar ou superestimar esses teores, acarretando excesso ou déficit nutricional em determinadas áreas. A amostragem regionalizada pode ser analisada através da geoestatística, usando os semivariogramas para descrever a sua variabilidade, a partir de parâmetros espaciais como alcance e a razão de dependência espacial.

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos de fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção de culturas agrícolas (SOUZA et al., 2004).

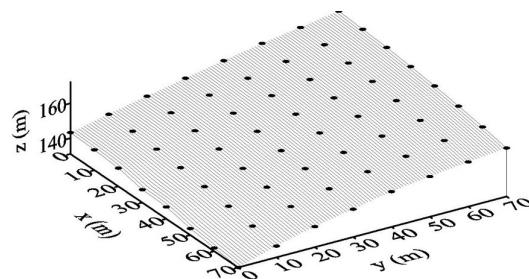
O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espacial dos teores de fósforo, potássio e da necessidade de calagem do solo sob pastagem de forma regionalizada e comparar esses resultados com os valores obtidos pelo método convencional de amostragem.

## Material e métodos

O experimento foi desenvolvido numa área pertencente à Escola Agrotécnica Federal de Alegre - EAFA, localizada no município de Alegre - ES. As coordenadas geográficas da área foram 20° 46' 2,8" S e 41° 27' 39,2" W, com altitude média de 120 m. O clima da região segundo Köppen, é do tipo megatérmico com inverno seco (Aw), caracterizando um clima tropical, com precipitação média anual de 1.200 mm.

O terreno escolhido situou-se na face sudeste de uma encosta. Nesta área foi escolhido o terço médio da rampa, apresentando basicamente um comportamento homogêneo na área de pastagem com pedoforma variando

de linear para côncavo (Figura 1). O relevo é predominantemente acidentado, com declividade média variando de 30 a 40°. A área experimental está sendo cultivada há aproximadamente 6 anos com pastagem de brachiaria (*Brachiaria decumbens*), em substituição à pastagem nativa de pernambuco (*Paspalum maritimum*), após revolvimento do solo com arado de aiveca de tração animal em nível e correção da acidez com calcário dolomítico somente na época de plantio em área total. O solo utilizado foi classificado como *Argissolo Vermelho Amarelo*, com textura argilosa (EMBRAPA, 2006).



**Figura 1** - Modelo digital de elevação (MDE) representando a distribuição espacial da amostragem regionalizada coletada na área experimental

Para uma amostragem regionalizada, foi instalada uma malha regular (*grid*) de dimensões 70 x 70 m, totalizando 64 pontos amostrais com os pontos espaçados 10 m, sendo as amostras retiradas no ponto de cruzamento entre as linhas e colunas do *grid*. Os pontos foram marcados com equipamentos de topografia e instrumentos de georreferenciamento (GPS). As amostras foram coletadas com um trado tipo sonda, na profundidade de 0,0-0,2 m, o solo foi seco ao ar, destorreadas e passadas em peneiras com malhas de 2 mm, caracterizando terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Físicas e Químicas do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

Para análise dos nutrientes e recomendação de calcário, considerando a forma convencional de amostragem, foram selecionados 20 pontos distribuídos aleatoriamente na área, sendo feita a coleta em “zigue-zague”, de acordo com Prezotti

et al. (2007), para a determinação de uma amostra composta. Foram quantificados os teores da variável fósforo (P) e potássio ( $K^+$ ) do solo, conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997). Os valores de T (capacidade de troca de cátions a pH 7) e V% (saturação por bases) foram usados para quantificar a necessidade de calagem (NC), determinada pelo método da elevação da saturação por bases (Equação 1), citado por Prezotti et al. (2007) como a mais utilizada no estado do Espírito Santo.

$$NC = \frac{T * (V_2 - V_1) * p}{PRNT} \quad (1)$$

em que: NC é a necessidade de calagem ( $t ha^{-1}$ ); T é a CTC a pH 7,0 ( $cmol_c dm^{-3}$ );  $V_2$  é a saturação por bases adequada à cultura a ser implantada (%);  $V_1$  é a saturação por bases atual do solo (%); p é o fator de profundidade; e PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário. Nos cálculos foi utilizado  $V_2$  de 50% e  $p = 1$  (0,0-0,2 m), conforme descrito por Prezotti et al. (2007), e um PRNT igual a 90% para quantificar a NC da área.

As variáveis do solo foram analisadas pela estatística descritiva, sendo calculado a média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade foi analisada pelo teste de Shapiro-Wilk's ao nível de 5% de probabilidade. A estatística descritiva visa principalmente observar a variabilidade dos dados e se eles apresentam distribuição normal, fato que pode influenciar na análise.

A análise geoestatística foi realizada para quantificar o grau de dependência espacial dos dados, pelo ajuste do semivariograma experimental. O semivariograma escalonado pela variância dos dados foi estimado pela equação 2.

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

em que:  $\gamma^*(h)$  é a semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados

$Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ ;  $h$  é a distância entre pontos amostrais e  $N(h)$  o número total de pares de pontos possíveis.

Os modelos teóricos testados foram: esférico, exponencial, gaussiano e linear sem patamar, considerando a isotropia. A escolha dos modelos foi realizada considerando a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O ajuste matemático dos modelos a partir do semivariograma possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ) e alcance da dependência espacial ( $a$ ).

A razão de dependência espacial (RD) informa a proporção em porcentagem do efeito pepita em relação ao patamar, sendo classificada conforme Cambardella et al. (1994), assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial fraca para valores de  $RD \geq 75\%$ , dependência espacial moderada entre  $25\% < RD < 75\%$  e dependência espacial forte para  $RD \leq 25\%$ .

Os mapas de distribuição espacial das variáveis foram elaborados no programa GS+ com base na interpolação dos dados por krigagem ordinária. Foram gerados os mapas para cada variável, contendo as áreas com valores maiores e menores que o valor médio encontrado no método convencional de amostragem de solo.

## Resultado e discussão

Os resultados da análise de solo pelo método convencional de amostragem foram para P,  $K^+$  e NC de  $1,55 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $27,50 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $1,27 \text{ tha}^{-1}$ , respectivamente. Os valores médios da análise descritiva para as variáveis considerando a amostragem regionalizada (Tabela 1) foram de  $1,65 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $25,52 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $1,36 \text{ t ha}^{-1}$  para as variáveis P,  $K^+$  e NC, respectivamente. Comparando esses valores, observa-se que os valores médios da amostragem convencional para P e NC foram subestimados em 6% e 7%, respectivamente, em relação à amostragem regionalizada, e para  $K^+$  o valor da amostragem convencional foi superestimado em 8%. Isso, em termos de adubação, talvez não apresente tanta diferença, considerando a questão econômica,

porém para produtos de maior custo e toxidez como defensivos agrícolas, essa diferença possa ser significante. Silveira et al. (2000) relatam que estimativas mais precisas devem ser buscadas na aplicação de fertilizantes, pois erros de estimativa poderão deslocar o valor obtido para outra faixa de recomendação, e assim, provocar adubações maiores ou menores que a necessária.

Todas as variáveis estudadas apresentaram coeficiente de assimetria positivo, indicando uma tendência da maior freqüência de dados menor que a média, o que foi confirmado pelos valores da mediana menores que os valores médios. Foi encontrado valor negativo para o coeficiente de curtose para todas as variáveis, ou seja, distribuição de freqüência platicúrtica, demonstrando uma maior dispersão dos dados em torno da média.

Os valores de média e mediana para as variáveis  $K^+$  e NC foram bem próximos, indicando distribuição simétrica, porém apenas NC apresentou normalidade dos dados confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk's ( $p < 0,05$ ). De acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, desde que a distribuição dos dados não apresente caldas muito alongadas. O maior coeficiente de variação (CV) foi observado para a variável P. Adotando o critério de classificação para o CV proposto por Wilding e Dress (1983), o valor mostra-se: alto ( $CV \geq 35\%$ ) para P e NC, e médio ( $15\% \leq CV < 35\%$ ) para  $K^+$ .

A análise de tendência das variáveis com os eixos x, y e suas interações foi realizada, porém optou-se pela não utilização da modelagem dos resíduos, uma vez que os valores de  $R^2$  do semivariograma foram maiores que 0,5 e significativos, conforme descrito por Azevedo (2004). Os semivariogramas escalonados foram usados para a análise geoestatística dos dados, encontrando dependência espacial para todas as variáveis, ou seja, verificou-se a existência de padrões espaciais nos gráficos das variáveis em relação às coordenadas de posição. Ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis, sendo este modelo o de maior ocorrência para as variáveis do solo (BERTOLANI; VIEIRA, 2001). A razão de dependência espacial foi

**Tabela 1** - Análise estatística descritiva dos 64 pontos amostrados da área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m

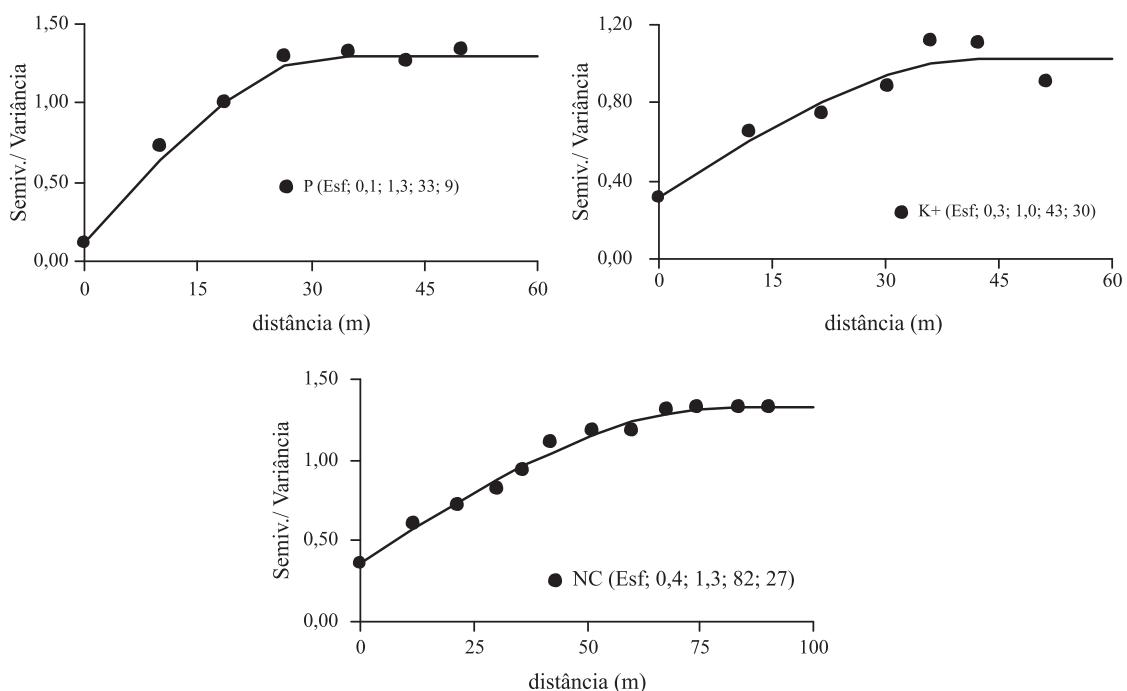
Variáveis	$\bar{x}$	Md	s	Valores			Coeficientes		W
				Mín.	Máx.	CV	$C_s$	$C_k$	
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,65	1,00	0,79	1,00	3,00	47,88	0,73	-1,00	0,00*
$K^+$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	25,52	25,00	7,80	11,00	45,00	30,56	0,54	-0,39	0,04*
NC ( $\text{t ha}^{-1}$ )	1,36	1,33	0,53	0,25	2,64	38,97	0,17	-0,31	0,91 <sup>ns</sup>

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

classificada, de acordo com Cambardella et al. (1994), em forte para o P e moderada para  $K^+$  e NC (Figura 2).

O maior alcance foi observado para a variável NC (82 m) e o menor para a variável P (33 m). Souza et al. (2006) afirmaram que para garantir a dependência espacial, os pontos devem ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance e, para não manter a dependência espacial, os pontos devem ser coletados a uma

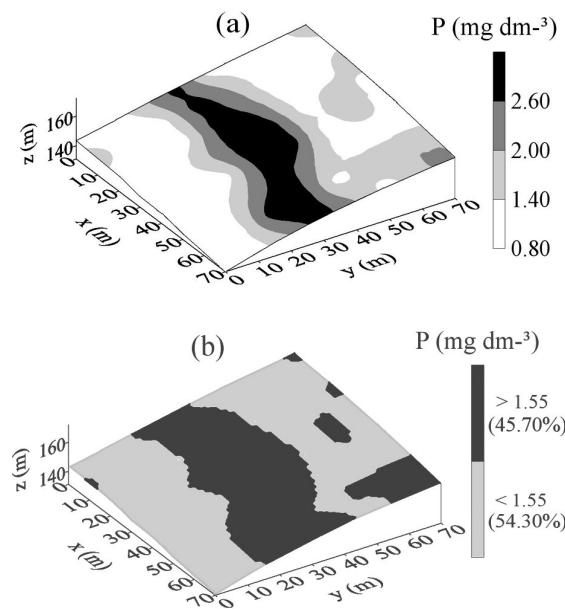
distância equivalente a duas vezes o alcance, fato que deixa de ser considerado quando se realiza a amostragem convencional. Os valores de alcance também podem influenciar na qualidade das estimativas, uma vez que ele determina o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas na interpolação por krigagem. Assim, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária utilizando valores maiores de alcance tendem a ser mais confiável, apresentando mapas

**Figura 2** - Modelos e parâmetros ( $C_0$ ;  $C_0 + C_1$ ; a; RD) ajustados dos semivariogramas escalonados dos variáveis em estudo (P,  $K^+$  e NC) na profundidade de 0,0-0,2 m

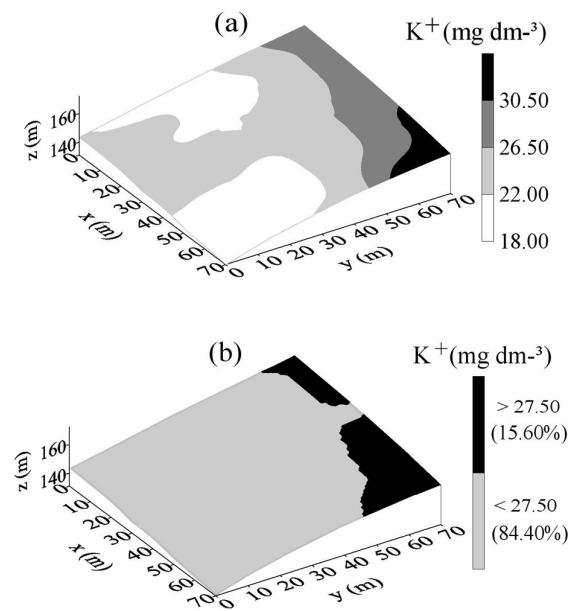
que representem melhor a realidade (CORÁ et al., 2004).

Observa-se nas Figuras 3a, 4a e 5a, que os maiores valores de  $K^+$  e NC estavam localizados na região superior da área, ocorrendo uma redução desses valores no sentido do declive, e que o P apresentou os maiores valores na região central, ao longo de toda área no sentido horizontal. Observa-se que não há um comportamento homogêneo na distribuição espacial do P na área. A distribuição espacial do  $K^+$  pode estar relacionada com a maior concentração de argila na parte superior do terreno, conforme discutido por Sattler (2006) considerando uma área de pastagem. Já a distribuição da NC pode estar associada com uma única aplicação de calcário na superfície do solo na época da implantação da pastagem e que no decorrer dos anos, em função do escoamento superficial provocado pelas chuvas, proporcionou o transporte de nutrientes da parte alta para a baixa, contribuindo para esta variabilidade espacial.

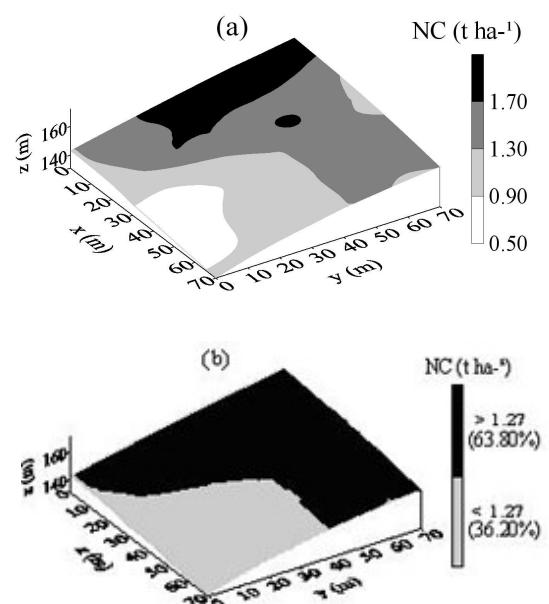
Os mapas de variabilidade foram reclassificados com base nos valores encontrados



**Figura 3** - Mapa da distribuição espacial dos teores de P (a) e mapa apresentando teores maiores e menores que o observado na amostragem convencional (b) na área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m



**Figura 4** - Mapa da distribuição espacial dos teores de  $K^+$  (a) e mapa apresentando teores maiores e menores que o observado na amostragem convencional (b) na área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m



**Figura 5** - Mapa da distribuição espacial da NC (a) e mapa apresentando necessidades maiores e menores que a observada na amostragem convencional (b) na área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m

no método convencional de amostragem, gerando novas imagens (Figura 3b, 4b e 5b), a fim de comparar os dois métodos de amostragem de solo. Observa-se que a maior parte da área (54,30%) apresentou teores de P menores que o indicado na amostragem convencional. Souza et al. (2006) relatam que a elevada variabilidade espacial do P é devido a sua baixa mobilidade no solo, contribuindo para redução do alcance.

Para o K<sup>+</sup> pode-se visualizar que 84,40% da área apresentou teores menores que o teor médio obtido na forma convencional (Figura 4b). Uma justificativa dessa elevada discordância em relação à média seria a elevada amplitude (4,5 vezes) entre o valor mínimo e máximo (Tabela 1), indicando que em casos de dados de elevada amplitude, maior será a probabilidade de ocorrer erros ao se utilizar a média para explicar um fenômeno, devendo-se, nesse caso, optar por outro tipo de análise. De acordo com Corá et al. (2004), problemas podem ocorrer quando se usa a média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo, ou seja, em alguns locais a dose recomendada de fertilizante ou corretivo será subdimensionada, em outros, será adequada e, em outros, poderá haver aplicação excessiva de determinado fertilizante ou corretivo, resultando em prejuízos econômicos, tanto pela aplicação desnecessária, quanto pelo desequilíbrio entre as quantidades de nutrientes que serão disponibilizados para as plantas, além do efeito deletério que essa prática pode ocasionar sobre o meio ambiente.

No caso da possível aplicação de calcário, foi observado que em 63,80% da área, a NC determinada pela amostragem regionalizada foi maior que a recomendada na forma convencional, com isso, na maior parte da área, a aplicação de calcário seria insuficiente para a correção adequada da acidez do solo. No entanto, a quantidade de calcário a ser aplicada na área pelo método convencional (620 kg) foi bem similar, quando comparado ao método estratificado (680 kg). Isso demonstra a importância não apenas da quantidade de corretivo e fertilizante aplicados numa área, mas também sua distribuição no espaço, a fim de criar, em toda área, melhores condições para o desenvolvimento da cultura.

Apesar de ser considerada uma área relativamente pequena, fica claro que não é o tamanho da parcela que determina seu grau de homogeneidade, porém Grego e Vieira (2005) afirmaram que em áreas de grande extensão existe uma tendência dos atributos apresentarem maior variabilidade que em áreas menores, causando maiores erros quando se trabalha com a média, como na amostragem convencional.

Assim, a aplicação convencional de insumos, baseada em teores médios de fertilidade do solo, pode subestimar ou superestimar esses teores no solo, acarretando excesso ou déficit nutricional em determinadas áreas (SOUZA et al., 2004). De acordo com Azevedo (2004), o uso de mapas de variabilidade permite localizar geograficamente áreas mais problemáticas, o que não ocorre nos procedimentos clássicos, quando se utiliza a média do conjunto de dados de cada variável para a análise.

## Conclusão

1. As variáveis em estudo apresentaram dependência espacial, classificada como forte e moderada.
2. A análise geoestatística das variáveis, utilizando uma amostragem regionalizada, permitiu mapear a variabilidade espacial na área, o que não é possível na amostragem convencional.
3. A técnica usada proporcionou comparar a amostragem convencional de solo com a regionalizada, sugerindo esse tipo de estudo principalmente em áreas de maior extensão, onde esse resultado tende a ser mais evidente.
4. Observa-se a importância de se determinar não só a quantidade de insumo aplicada numa área, mas também sua distribuição espacial, objetivando atingir, em toda área, o máximo do potencial produtivo.

## 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.

- 141 f. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 04, p. 987-995, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2005.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 05, p. 1501-1511, 1994.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 06, p. 1013-1021, 2004.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.
- EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.
- EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2006.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 02, p. 169-177, 2005.
- PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- SATTLER, M. A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo Vermelho Amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.
- SILVEIRA, P. M. et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.
- SOUZA, L. S.; VIEIRA, S. R.; COGO, N. P. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 03, p. 373-377, 1997.
- SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 829-836, 2006.
- SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, n. 06, p. 1763-1771, 2004.
- WILDING, L. P.; DREES, L. R. **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983.