

## Efeito do deslocamento vertical entre amostras na análise variográfica de atributos de solo<sup>(1)</sup>.

**Fabio Arnaldo Pomar Avalos<sup>(2)</sup>; Lucas Machado Pontes<sup>(3)</sup>; Marx Leandro Naves Silva<sup>(4)</sup>; Marcelo Silva de Oliveira<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup>Trabalho executado com recursos do CNPq, FAPEMIG e CAPES.

<sup>(2)</sup>Mestrando em Ciência do Solo, bolsista CAPES, Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, [fa\\_ingeo@gmail.com](mailto:fa_ingeo@gmail.com); <sup>(3)</sup>Doutorando em Ciência do Solo – DCS/UFLA; <sup>(4)</sup> Professor Titular; DCS/UFLA; <sup>(5)</sup> Professor Titular; Departamento de Ciências Exatas, UFLA .

### RESUMO

A estimativa da variabilidade espacial de atributos de solo por meio da variografia é crucial para a análise geoestatística, o mapeamento e a representação das funções do solo. Visando avaliar o efeito do deslocamento vertical entre amostras na estimativa da variabilidade espacial de três atributos químicos do solo: pH, teor de Mg e matéria orgânica (MO), foi adicionada a coordenada altitude no cálculo da distância entre 150 amostras de solo de uma sub-bacia (11,97 km<sup>2</sup>). Ajustaram-se modelos variográficos esféricos aos variogramas empíricos obtidos pelo método convencional e pelo método apresentado. O efeito do cálculo da distância foi avaliado subtraindo os parâmetros dos modelos ajustados: efeito pepita, variância estrutural, patamar, alcance e razão de dependência espacial. Diferenças de magnitude variável nos parâmetros dos modelos variográficos avaliados foram registradas. Diminuições de 30, 0 e 56 m nos alcances estimados do pH, MO e Mg, respectivamente. Assim como diferenças na razão de dependência espacial: -1,68% para o pH, -21,33% para a MO e -0,88% no caso do Mg. O método empregado para o cálculo de distâncias apresentou-se promissor para o melhoramento da representação dos fenômenos de autocorrelação espacial.

**Termos de indexação:** variabilidade espacial, geoestatística, modelo digital de superfície.

### INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição espacial de atributos do solo é de suma importância para conservar o solo e otimizar o desempenho de suas funções ecossistêmicas. É crescente o interesse por técnicas que permitam maior precisão na predição espacial de atributos físicos e químicos do solo, com destaque para as técnicas de geoestatística.

Os atributos do solo são assumidos como variáveis aleatórias, visto que são o resultado de interações ecossistêmicas muito complexas e apresentam autocorrelação espacial sob algum nível espacial de análise (Oliver e Webster, 2014).

A determinação estatística do fenômeno de autocorrelação espacial de uma variável é feita por meio da função de semivariância. Assumindo isotropia, a mesma é uma função da distância de separação entre os pontos de uma amostra e a diferença causada por esse afastamento (Vieira et al., 1983).

A determinação de (semi) variogramas empíricos e teóricos, técnica conhecida como variografia, é fundamental tanto para a avaliação da variabilidade espacial de um atributo do solo, como para a estimativa geoestatística, servindo como base para métodos interpoladores como a krigagem (Vieira et al., 1983; Cressie, 1993).

De modo geral e devido à complexidade da mesma, a variografia é feita empregando pares de pontos referidos a um sistema de coordenadas projetadas sobre um plano gerado por uma figura geométrica desenvolvida (p.e. o cilindro da projeção UTM). Portanto, não é considerado o efeito do deslocamento vertical gerado pela superfície do terreno.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do cálculo da distância entre pontos adicionando a coordenada de altitude na estimativa da variabilidade espacial dos atributos do solo por meio da variografia.

### MATERIAL E MÉTODOS

Foi empregado um banco de dados de 150 amostras de solo da camada 0 – 0,20 m da sub-bacia hidrográfica das Posses (11,97 km<sup>2</sup>), município de Extrema, estado de Minas Gerais (Lima et al., 2014) dos seguintes atributos de solo: pH em água, Mg e matéria orgânica (MO), os quais foram determinados segundo a metodologia da EMBRAPA (2011).

As amostras correspondem com uma malha de pontos de coordenadas (mE, mN), projetados no sistema UTM registrados no sistema de coordenadas, Datum SAD-69, fuso 23K. A coordenada da altitude do terreno (mZ), atribuída a cada ponto, foi obtida a partir do Modelo Digital de Superfície (MDS) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), o mesmo foi adquirido do site [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov). Esse MDS apresenta uma resolução espacial de 1 arco segundo, isto é, aproximadamente 30 m por célula. A faixa de altitude



da sub-bacia registrada pelo MDS foi de 944 a 1.448 m (Figura 2).

As estatísticas descritivas foram calculados no ambiente R, versão 3.1.2 (R Core Team, 2014). Para a análise variográfica empregou-se o pacote *gstat* (Pebesma, 2004). A estimativa dos variogramas empíricos foi realizada, assumindo isotropia, pelo método de momentos (Matheron, 1965):

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2m(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{m(\mathbf{h})} \{(z(x_i) - z(x_i + \mathbf{h}))\}^2 \quad (1)$$

Onde  $m(\mathbf{h})$  é o número de pares de pontos separados pelo vetor  $\mathbf{h}$ ,  $z(x_i)$  é o valor da variável em cada ponto e  $z(x_i + \mathbf{h})$  é o valor medido em um ponto separado pelo vetor  $\mathbf{h}$ . Esse vetor é a distância euclidiana entre cada par de pontos:

$$\mathbf{h} = \|\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2)$$

Em que  $d$  é o número de dimensões. As coordenadas (mE, mN) foram usadas no caso  $d=2$  e (mE, mN, mZ) no caso  $d=3$ .

Visto que o trabalho objetivou avaliar o efeito da determinação do vetor  $\mathbf{h}$ , foi ajustado o mesmo modelo variográfico teórico, o modelo esférico, às três variáveis avaliadas.

Além disso, foi determinada a razão de dependência espacial (RD) de cada modelo conforme Cambardella et al. (1994):

$$RD = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde RD é a razão de dependência espacial,  $C_0$  o efeito pepita e  $(C_0 + C_1)$  o patamar.

Visto que a equação 2 é uma função determinística, a diferença entre os modelos foi avaliada subtraindo-se os valores dos parâmetros estimados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas dos atributos de solo avaliados são apresentadas na Tabela 1.

Conforme foi observado por Lima et al. (2014), na mesma área de estudo, os valores altos do CV, que relaciona as médias e as variâncias, da MO e do Mg podem ser explicados pela heterogeneidade do uso do

solo da sub-bacia.

Os modelos variográficos experimentais e ajustados são apresentados na Figura 1 e os parâmetros dos modelos esféricos ajustados e as diferenças entre os mesmos, na Tabela 2.

A variabilidade espacial do atributo pH, modelada pela análise variográfica, tanto no caso  $d=2$ , quanto no caso  $d=3$ , apresentou um patamar e um efeito pepita semelhante. Devido a isto, não foi observada uma mudança na razão de dependência espacial que, segundo o critério de Cambardella (1994) pode ser interpretada como moderada.

**Tabela 1** Parâmetros estatísticos dos atributos do solo da Sub-Bacia das Posses (Extrema, MG).

Variável	Média	Variância	CV %
pH em H <sub>2</sub> O	5,44	0,14	6,80
MO (g kg <sup>-1</sup> )	3,59	1,61	35,38
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,72	0,22	65,28

CV - Coeficiente de variação; pH - Potencial hidrogeniônico; Mg - Teor de magnésio; MO - Matéria orgânica do solo.

Nos dois casos os modelos ajustados se aproximaram à variância global dessa variável. Entretanto, apresentou um alcance menor (dif=30 m) no caso  $d=3$ .

**Tabela 2** Parâmetros estimados pelos modelos esféricos dos atributos de solo da Sub-Bacia das Posses (Extrema, MG).

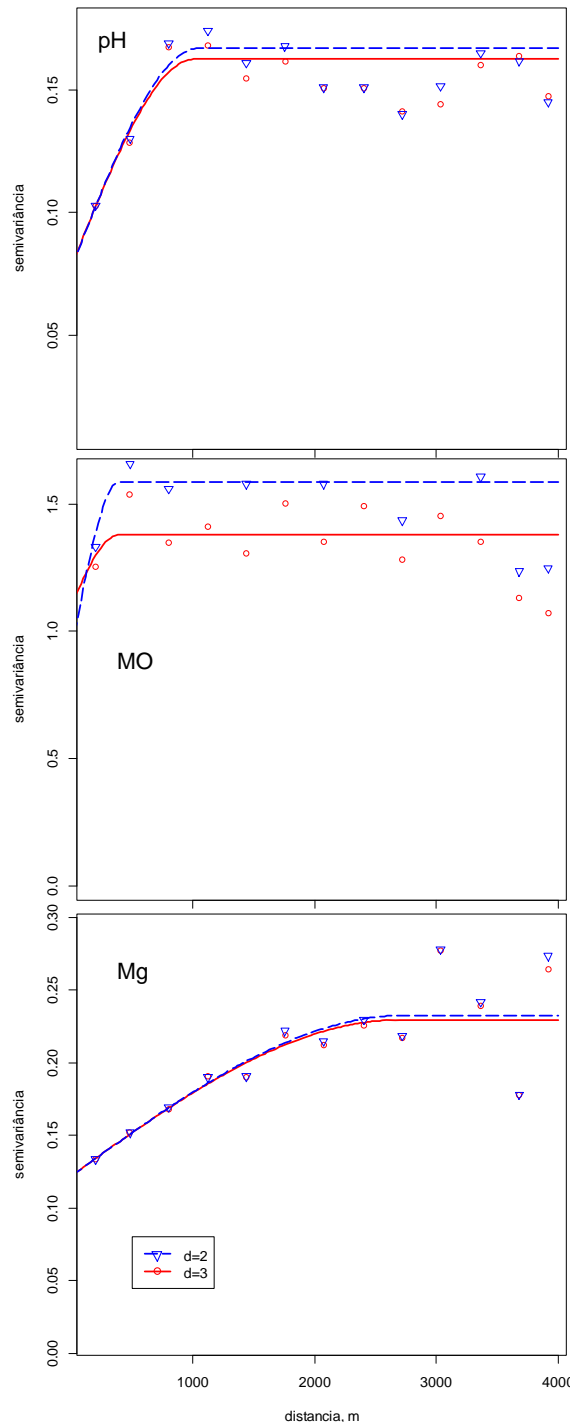
Variável	d	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	A	RD %
pH	2	0,08	0,09	0,17	1050,29	46,08
	3	0,08	0,09	0,16	1019,43	47,76
	dif	0,00	0,00	0,00	30,86	-1,68
MO	2	0,91	0,64	1,56	388,80	58,60
	3	1,10	0,28	1,38	388,80	79,93
	dif	-0,19	0,37	0,18	0,00	-21,33
Mg	2	0,12	0,11	0,23	2744,67	52,39
	3	0,12	0,11	0,23	2688,56	53,28
	dif	0,00	0,00	0,00	56,12	-0,88

$d$  - dimensão das coordenadas; dif - diferença entre os parâmetros dos modelos; C<sub>0</sub> - Efeito pepita; C<sub>1</sub> - Variância estrutural; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> - Patamar, A - Alcance; RD - Razão de dependência espacial; pH - Potencial hidrogeniônico; Mg - Teor de magnésio; MO - Matéria orgânica do solo.

O atributo MO apresentou uma diferença importante nos patamares estimados pelos modelos. No caso  $d=2$ , a estimativa apresentou uma melhor aproximação à variância do que no caso  $d=3$ , em consequência,



registrou-se uma mudança importante na razão de dependência espacial, a qual mudou de moderada ( $d=2$ ) para fraca ( $d=3$ ) (Cambardella et al., 1994).



**Figura 1** – Variogramas empíricos e teóricos dos atributos de solo avaliados. Ajustou-se o modelo esférico em todos os casos.

O modelo variográfico do Mg, foi o que apresentou a maior diferença no parâmetro alcance (56,12 m), sendo maior no caso  $d=2$ . A dependência espacial estimada pelos modelos foi moderada nos dois casos (Cambardella et al., 1994) e ofereceram uma boa estimativa da variância global deste atributo.

Ressalta-se, no caso da MO, que o efeito da altitude, gera uma tendência na variação da mesma, como foi observado por Wang et al. (2008) esse efeito pode ter sido representado na variografia do caso  $d=3$ , afetando a dependência espacial.

Visto que a estimativa dos variogramas teóricos é crucial na análise da variabilidade espacial, assim como na estimativa geoestatística (Oliver e Webster, 2014), espera-se que a adição da informação do efeito do deslocamento vertical entre os pontos amostrados tenha gerado uma melhor representação do fenômeno de autocorrelação espacial dos atributos de solo avaliados. A mesma pode ser avaliada posteriormente empregando métodos de validação ou simulação.

## CONCLUSÕES

A adição da coordenada altitude na análise variográfica apresenta diferenças de magnitude nos parâmetros dos modelos variográficos avaliados, em maior ou menor grau dependendo da variável estudada.

As diferenças observadas afetaram tanto as razões de dependência espacial, quanto o alcance e o efeito pepita dos atributos de solo analisados.

Os autores acreditam que o cálculo de distâncias entre os pontos amostrados que adicionam o efeito do deslocamento vertical pode representar melhor os fenômenos de autocorrelação, porém, o seu emprego exigiria a implementação nos softwares de análise geoestatística da terceira coordenada, para adequada interpolação por métodos geoestatísticos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, FAPEMIG (CAG-APQ 01423-11 e PPM 00422-13) e CNPQ (471522/2-12-0) pelo financiamento e bolsas e à Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Extrema – MG pelo apoio e suporte logístico à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

Cambardella CA, Moorman TB, Parkin TB, Karlen DL, Novak JM, Turco RF, Konopka AE. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci Soc Am J.* 1994;58:1501.

Cressie N. *Statistics for Spatial Data.* 2º ed. Wiley J, organizador. New York: Iowa State University; 1993.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.

Lima G, Silva M, Oliveira M, Curi N, Silva M, Oliveira A. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. Rev Bras Eng Agríc Ambient. 2014;18:517–526.

Matheron G. Les variables régionalisées et leur estimation. Paris: Masson; 1965.

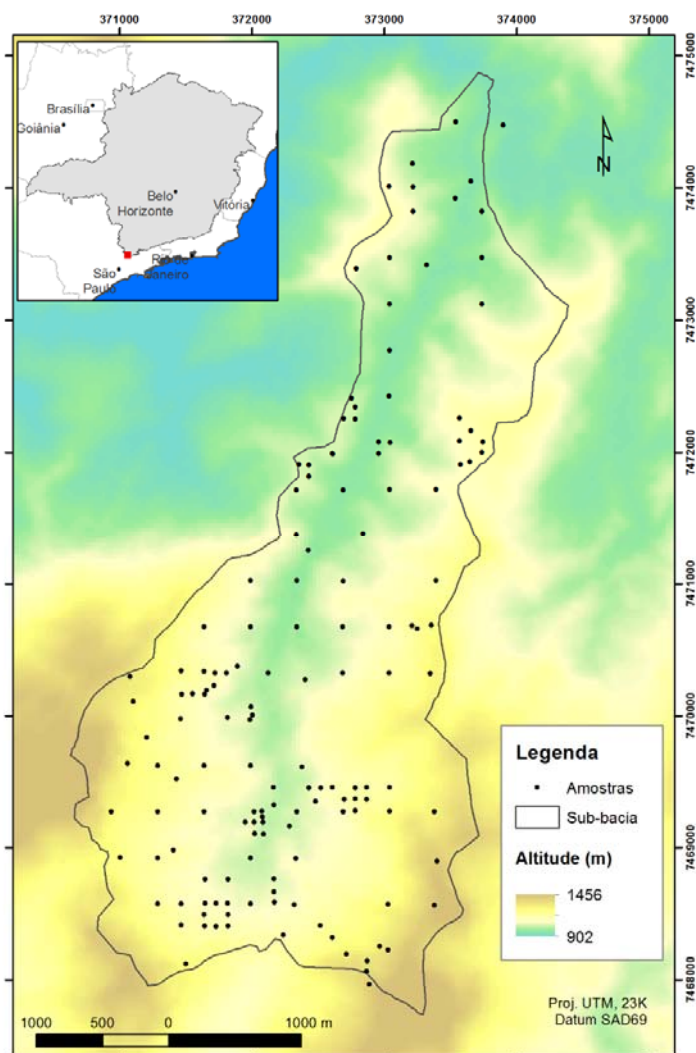
Oliver M, Webster R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Catena. Elsevier B.V.; 2014;113:56–69.

Pebesma EJ. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Comput Geosci. 2004;30:683–691.

R-Core-Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org>

Vieira SR, Hatfield JL, Nielsen DR, Biggar JW. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia. 1983;51:1–75.

Wang ZM, Zhang B, Song KS, Liu DW, Li F, Guo ZX, Zhang SM. Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China. Plant Soil Environ. 2008;54:420–427.



**Figura 2** – Pontos amostrados e modelo digital de superfície (MDS), sub-bacia hidrográfica das Posses, Extrema (MG).