



## Variabilidade espacial de Ferro, Cobre, Manganês e Zinco em solo cultivado com macadâmia

**Ivoney Gontijo<sup>(1)</sup>; Andressa Coelho de Oliveira<sup>(2)</sup>; Arthur Barros Ziviani<sup>(2)</sup>; Jaqueline Orlandi Paris<sup>(2)</sup>; Wallas de Oliveira Lima<sup>(2)</sup>; Eduardo Oliveira de Jesus Santos<sup>(3)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES, ivoney.gontijo@ufes.br; <sup>(2)</sup> Estudante de Agronomia; Universidade Federal do Espírito Santo; São Mateus, ES; <sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES.

**RESUMO:** A macadâmia, noqueira de origem australiana, tem se mostrado com alto potencial de desenvolvimento de produção no Brasil. Por ser uma cultura pouco difundida, o conhecimento sobre a variabilidade espacial dos nutrientes na lavoura é pequeno. Objetivou-se no presente trabalho estudar a variabilidade espacial dos micronutrientes Ferro, Cobre, Manganês e Zinco em uma área cultivada com macadâmia. O estudo foi desenvolvido em um Latossolo Amarelo distrocoeso, cultivado há 15 anos com macadâmia no município de São Mateus - ES. O experimento foi instalado uma malha quadrangular de 100 x 100 m com 100 pontos e com distância mínima de 5 m, onde foram coletadas 4 subamostras de solo na profundidade 0-20 cm para composição de 1 amostra composta, utilizada para análise química determinando-se os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn. Os dados foram submetidos à análise geoestatística através do ajuste de semivariogramas experimentais. Todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial (forte e moderada). O estudo dos atributos químicos do solo mostrou-se como ferramenta importante na compreensão do comportamento dos nutrientes no solo, podendo ser fundamental no auxílio à tomada de decisão que vise otimização do processo de fertilização e obtenção de maiores produtividades da lavoura.

**Termos de indexação:** *Macadamia integrifolia*, micronutrientes, geoestatística.

### INTRODUÇÃO

A macadâmia é uma frutífera nativa da Austrália que apresenta bom desenvolvimento em clima tropical e subtropical. É pertencente à família *Proteaceae*, com quatro espécies, sendo a *Macadamia integrifolia* a única plantada comercialmente. Sua noz possui alto valor no mercado internacional, sendo quase 100% da produção brasileira atual destinada à exportação. Entretanto, o mercado nacional de noz macadâmia vem crescendo rapidamente, sendo que as três maiores indústrias estão localizadas nos estados de

São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro (Sobierajski et al., 2006).

Estudos mostram que a noqueira macadâmia requer um balanço adequado entre as partes reprodutivas e vegetativas da planta, uma vez que adubações desequilibradas podem reduzir a produtividade (McFadyen et al., 2011).

Desse modo, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos de solo e de cultura apresenta-se como ferramenta vantajosa para o manejo da área agrícola, levando em consideração informações pontuais do solo e da cultura (Amado et al., 2009). Além disso, para os micronutrientes, que apresentam estreita faixa entre toxidez e deficiência, uma análise detalhada da área aperfeiçoaria o processo de fertilização.

Objetivou-se, no presente trabalho, estudar a variabilidade espacial dos micronutrientes Ferro, Cobre, Manganês e Zinco em uma área cultivada com macadâmia.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área cultivada com uma lavoura de macadâmia com 15 anos, localizada no município de São Mateus – ES, sob Latossolo Amarelo distrocoeso (Embrapa, 2013). As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Solos e Análise Foliar do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (CEUNES-UFES).

#### Amostragens

Foi instalada uma malha quadrangular de 100 x 100 m (10.000 m<sup>2</sup>) com 100 pontos, com distância mínima de 5m. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solo na profundidade 0-20 cm para análise química de acordo com Embrapa (1997), determinando-se os micronutrientes Ferro, Cobre, Manganês e Zinco.

Para georreferenciamento da área foi utilizado um par de receptores Spectra Precision®, modelo PROMARK 220 geodésico. As coordenadas obtidas foram corrigidas e os dados processados pela Rede



Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE apresentaram precisão de 10 mm + 1 ppm.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da estatística descritiva e à análise geoestatística, com o objetivo de definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos neste estudo, obtendo-se, assim, os semivariogramas e, posteriormente, o mapeamento de cada atributo químico estudado através da krigagem. A análise da dependência espacial foi feita pela geoestatística com auxílio do programa computacional GS+ Versão 7 (Gamma Design Software, 2004), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais, cuja expressão pode ser encontrada em Vieira et al. (1983):

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

em que:  $n(h)$  número de pares amostrais  $[z(x_i); z(x_i + h)]$  separados pelo vetor  $h$ , sendo  $z(x_i)$  e  $z(x_i + h)$ , valores numéricos observados do atributo analisado, para dois pontos  $x_i$  e  $x_i + h$ , separados pelo vetor  $h$ .

A análise espacial foi realizada por meio da construção e interpretação do semivariograma experimental e do ajuste de um modelo matemático para avaliação da estrutura de variância dos dados. Conhecido o semivariograma e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e variância mínima. Assim foram construídos os mapas de distribuição espacial dos atributos estudados, sendo os dados interpolados por meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma. Para ajuste dos modelos matemáticos aos semivariogramas foi utilizado o método de tentativa e erro, aliado ao exame dos resultados da validação cruzada (Vieira, 2000), que avalia a qualidade da estimativa realizada pela krigagem.

Foi calculada a razão de dependência espacial ( $GD$ ), que é a proporção em percentagem do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ) – equação 2, que de acordo com Cambardella et al. (1994), apresenta a seguinte proporção: (a) dependência espacial forte, <25%; (b) dependência espacial moderada, de 25 a 75%; e (c) dependência espacial fraca, >75%.

$$GD = \left( \frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

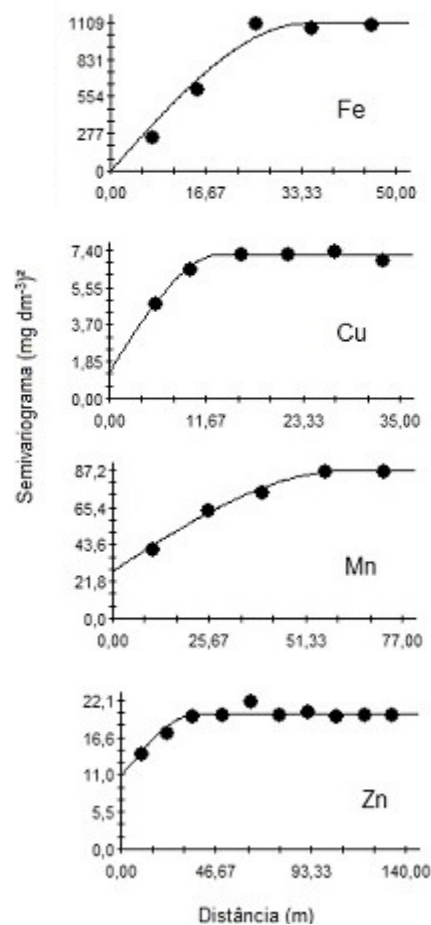
Os resultados referentes à análise da estatística

descritiva para os micronutrientes estão apresentados na **tabela 1**. Os valores da média e da mediana para as variáveis cobre; zinco e manganês estão mais próximos, indicando distribuições simétricas e, para ferro, ocorrem valores com certo distanciamento entre média e mediana, podendo ser um indicativo de distribuição de dados assimétricos, em que as medidas de tendência central são dominadas por valores atípicos.

**Tabela 1** – Estatística descritiva dos dados de ferro, cobre, manganês e zinco em solo cultivado com macadâmia, no município de São Mateus, ES, obtidos a partir de 100 amostras.

Estatística descritiva	mg dm <sup>-3</sup>			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Média	81	9	18	13
Mediana	66	8	17	13
CV (%) <sup>1/</sup>	48	33	47	39
D.P. <sup>2/</sup>	38,6	2,9	8,7	4,9

<sup>1/</sup> Coeficiente de variação; <sup>2/</sup> Desvio padrão.



**Figura 1:** Modelos de semivariogramas ajustados para ferro, cobre, manganês e zinco.

Verificou-se dependência espacial em todos os atributos estudados, expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas (**Tabela 2 e Figura 1**). O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas para todas as variáveis estudadas foi o esférico, concordando com Grego & Vieira (2005), que apontam o modelo matemático esférico como predominante nos trabalhos em ciência do solo.

**Tabela 2** – Modelos e parâmetro estimados dos semivariogramas experimentais para ferro, cobre, zinco e manganês da lavoura de macadâmia cultivada no município de São Mateus, ES.

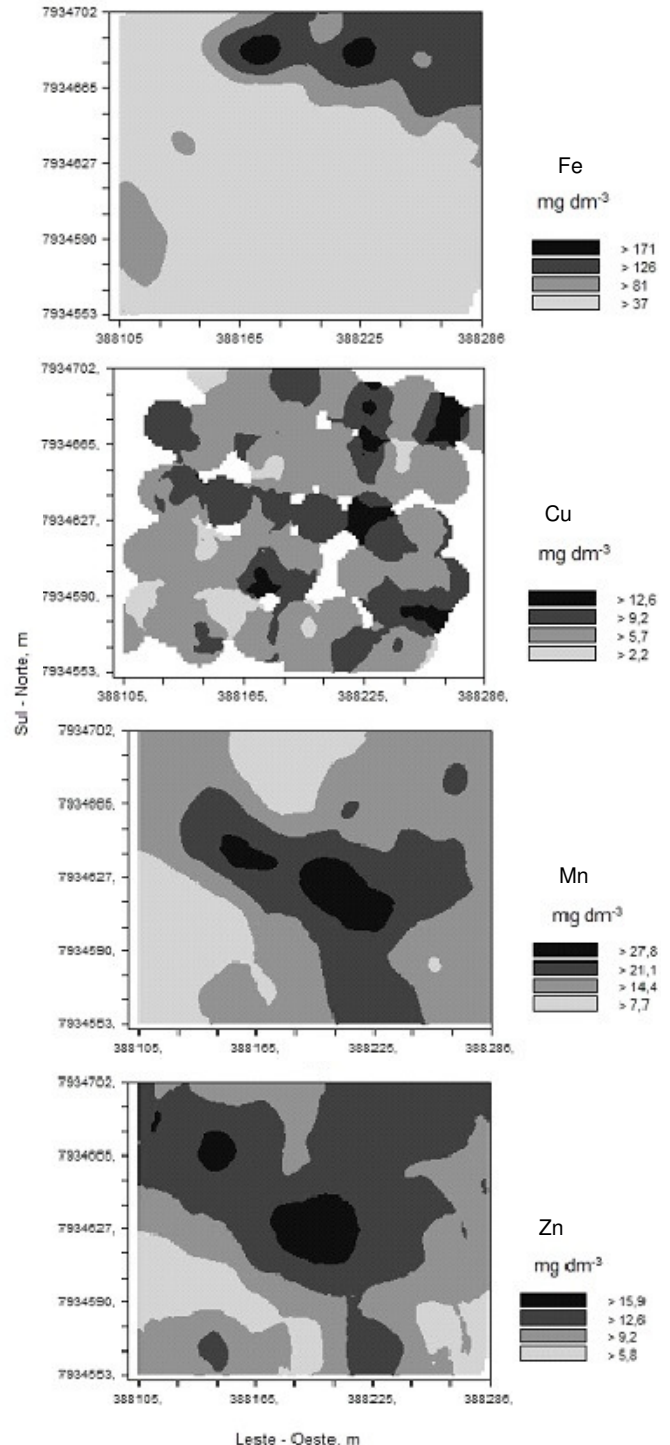
Parâmetro	mg dm <sup>-3</sup>			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Modelo	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.
E P (C <sub>0</sub> )	1,0	1,3	28,0	10,8
P (C <sub>0</sub> + C)	1103,0	7,2	87,0	20,0
A (m)	34,4	13,4	61,9	36,7
GD	0,091	18,49	32,18	54,25
R <sup>2</sup>	0,974	0,973	0,992	0,894
SQR	24254	0,134	11,5	5,08
CRCV				

EP – efeito pepita; P – patamar; A – alcance; GD – razão de dependência espacial; R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; SQR – soma de quadrado de resíduo; CRCV – coeficiente de validação cruzada; Esf. – esférico

Com base a classificação de Cambardella et al. (1994), observa-se que o ferro e o cobre possuem dependência espacial forte, já para zinco e manganês constatou-se dependência moderada, corroborando com os resultados observados por Corá et al. (2004) e Souza et al. (2004).

Observou-se que o manganês apresentou maior alcance, sendo esse um atributo muito importante uma vez que representa a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (Chaves & Farias, 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora desta área.

Pelos mapas da **figura 2** observa-se tendência geral de maiores concentrações de ferro a nordeste e zinco e manganês ao centro da área, ocasionando possivelmente maiores produtividades da macadâmia. Para o cobre, infere-se que o baixo valor do coeficiente de validação cruzada entre os dados tenha resultado em um mapa de baixa qualidade.



**Figura 2:** Mapas de isolinhas das variáveis ferro, cobre, manganês e zinco.



## CONCLUSÕES

Verifica-se dependência espacial para todos os atributos químicos estudados, com grau de dependência espacial forte e moderado.

Observa-se maior alcance de dependência espacial para o manganês (61,9 m) e o menor para o cobre (13,4 m).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo por meio da geoestatística, utilizando-se a técnica da krigagem, apresenta-se como ferramenta indispensável na compreensão do comportamento dos nutrientes no solo, sendo fundamental no auxílio à tomada de decisão que vise maiores produtividades da lavoura de macadâmia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Eliseu Bonomo pela cessão da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PES, L. C.; LEMAINSKI, C. L. & SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:831-843, 2009.
- 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*, 58:1501-1511, 1994.
- CHAVES, L. H. G. & FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, 40:211-218, 2009.
- CORÁ, J.E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T. & BERALDO, J. M. G. 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*, 28:1013-1021, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Brasília, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. *Geostatistics for the environmental sciences*. Version 7.0. Michigan, 2004. CD-ROM
- 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.
- MCFADYEN, L.M.; ROBERTSON, D.; SEDGLEY, M.; KRISTIANSEN, P. & OLESEN, T. Post-pruning shoot growth increases fruit abscission and reduces stem carbohydrates and yield in macadamia. *Annals of Botany*, 107:993-1001, 2011.
- SOBIERAJSKI, G. da R.; FRANCISCO, V. L. F. dos S.; ROCHA, P.; GHILARDI, A. A. & MAIA, M. L. Noz-Macadâmia: produção, mercado e situação no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, 36: 25-36, 2006.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. & MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 34:1763-1771, 2004.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*, v. 1. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75, 1983.

