

Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo¹

Spatial variability of macronutrients in a crop of conilon coffee in the north of Espírito Santo

Eduardo Oliveira de Jesus Santos^{2*}, Ivoney Gontijo³, Marcelo Barreto da Silva³ e Antônio Pereira Drumond Neto⁴

RESUMO - Os solos do Estado do Espírito Santo apresentam baixa fertilidade natural, que frequentemente limita a produção das lavouras devido às deficiências de alguns elementos. No entanto, os mesmos apresentam alto potencial de produção agrícola quando são sanadas as limitações químicas presentes. Objetivou-se no presente estudo descrever a variabilidade espacial dos macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) em uma lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre) localizada na área rural do município de São Mateus, ES. O experimento foi conduzido em uma lavoura, plantada com espaçamento 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹). Foi considerada uma malha quadrangular de 61,6 x 20,0 m (1.232 m²) com 60 pontos de amostragem, distanciados de 5,6 m entrelinhas e 5,0 m na linha de plantio. Em cada ponto da malha amostral foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0,0-0,20 m. Todos os macronutrientes em estudo apresentaram dependência espacial forte. O maior alcance de dependência espacial foi para o Mg (32,4 m) e o menor para o Ca (8,1 m). O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo pela geoestatística, utilizando a krigagem, mostrou-se uma importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial dos macronutrientes no solo, podendo ser fundamental no auxílio à tomada de decisão que vise atender a exigência nutricional da lavoura do café conilon.

Palavras-chave: Geoestatística. Atributos químicos. *Coffea canephora*.

ABSTRACT - The soils in the state of Espírito Santo, Brazil (ES) display low natural fertility, which often limits the production of the crops due to the deficiency of some elements. However, they have a high potential for agricultural production when the chemical limitations which are present are overcome. The aim of this study was to describe the spatial variability of the macronutrients calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P) and potassium (K) in a crop of conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre) located in the rural area of the city of São Mateus, ES. The experiment was carried out on a crop, planted at a spacing of 1.8 x 1.0 m (5,555 plants ha⁻¹). A rectangular grid of 61.6 x 20.0 m (1,232 m²) was considered, with 60 sampling points, spaced 5.6 m apart between rows and 5.0 m within each crop row. At each point in the sampling grid, soil samples were collected at a depth of 0.00-0.20 m. All the macronutrients under study displayed a strong spatial dependence. The greatest range of spatial dependence was observed for Mg (32.4 m) and the smallest for Ca (8.1 m). Study of the spatial variability of the chemical properties of the soil by geostatistics, using kriging, proved to be an important tool in understanding the spatial distribution of macronutrients in the soil, and may be crucial in aiding the decision making that helps to attend the nutritional requirements of the conilon coffee crop.

Key words: Geostatistics. Chemical attributes. *Coffea canephora*.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150028

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 08/03/2012; aprovado em 28/02/2015

Pesquisa realizada com recursos do Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de São Mateus, BR 101 Norte, Km 60, Litorâneo, 29932-540, São Mateus-ES, Brasil, eduardoliviera@hotmail.com

³Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de São Mateus, BR 101 Norte, Km. 60, Litorâneo, 29932-540, São Mateus-ES, Brasil, ivoneygontijo@ufes.br; marcelobarreto@ceunes.ufes.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Alto Universitário, s/n, Guararema, Alegre-ES, Brasil, 29.500-000, agrodumond@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Espírito Santo é o maior estado produtor de café conilon (*Coffea canephora* Pierre) beneficiado, contribuindo com cerca de 65% da produção nacional (CONAB, 2011). Esta espécie de café está presente em mais de 80% dos municípios capixabas, em uma área de aproximadamente 290 mil hectares (PEZZOPANE *et al.*, 2010).

Levantamento do índice de fertilidade do Estado do Espírito Santo, realizado por Pires *et al.* (2003), indicou que, aproximadamente, 89% dos solos capixabas foram classificados como de média a alta acidez potencial. Esses resultados, associados aos baixos índices de pH do solo e Ca trocável, reforçam a importância do manejo de correção e adubação do solo, visando reduzir a toxidez de Al e aumentar a disponibilidade, principalmente, de macronutrientes. Promovendo assim, melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular do café conilon, os quais são mais suscetíveis às altas concentrações do alumínio (MATTIELLO *et al.*, 2008).

Os programas de melhoramento realizados nas cultivares de café conilon vêm aumentando as suas produtividades, tornando-as mais exigentes em termos nutricionais. Para o planejamento da adubação dessa cultura, deve-se levar em consideração o grau de fertilidade do solo para evitar problemas de deficiência nutricional (REIS JÚNIOR; MARTINEZ, 2002).

No ramo da ciência do solo, observa-se um crescimento na aplicação da geoestatística, considerada como uma ferramenta adicional no estudo de seus atributos químicos e físicos. A geoestatística facilita o estudo do comportamento da variabilidade espacial destes atributos, permitindo assim, uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além de quantificar a sua magnitude (CAVALCANTE *et al.*, 2007a; SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2004).

No sistema de recomendação de aplicação de insumos, utilizam-se os métodos estatísticos clássicos, onde são ignoradas as consequências da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios de amostras, podendo subestimar ou superestimar as doses de fertilizantes. Através das técnicas de geoestatística, pode-se determinar se um atributo apresenta ou não estrutura espacial. Uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada (BOTTEGA *et al.*, 2013; GREGO; VIEIRA, 2005; SOUZA *et al.*, 2004).

Os atributos químicos do solo possuem uma dinâmica de distribuição bastante diferenciada ao longo da diversidade de forma do relevo, decorrentes das alterações provocadas pelo sistema de manejo agrícola adotada e dos processos erosivos (SOUZA *et al.*, 2008). Levando em consideração o manejo de fertilizantes da

cultura do café conilon no Estado do Espírito Santo, torna-se necessário o conhecimento da distribuição espacial dos nutrientes no solo, visando a obtenção de um manejo da adubação mais eficiente na lavoura cafeeira.

Portanto, objetivou-se no presente estudo descrever a variabilidade espacial dos macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) em uma lavoura de café conilon no município de São Mateus, ES.

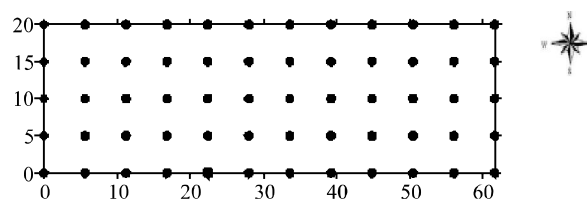
MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre), em um sistema de plantio adensado, mantendo-se quatro hastes por plantas, com espaçamento de 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹), localizado ao norte do Estado do Espírito Santo, no município de São Mateus, nas coordenadas 18° 41' 58" S; 40° 03' 00" W; e altitude média de 30 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

As análises de solo foram realizadas no Laboratório Agrônomo de Análise de Solo, Folha e Água (LAGRO) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Foi considerada uma malha quadrangular de 61,6 x 20,0 m (1.232 m²) com 60 pontos de amostragem distanciados de 5,6 m nas entrelinhas e 5,0 m na linha de plantio (Figura 1), foi utilizada uma trena de 50 metros para demarcação dos pontos amostrais. As fileiras estão dispostas no sentido norte-sul. Em cada ponto amostral foram coletadas três sub-amostras de solo na projeção da copa do cafeeiro, formando uma amostra composta, na profundidade de 0,0-0,20 m. Em cada amostra de solo procedeu-se a análise química dos macronutrientes Ca, Mg, P e K, de acordo com Embrapa (1997).

Na ocasião da implantação da lavoura, foi realizada a correção do solo com a aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. No plantio, para cada metro de sulco, foram aplicados 5 kg de uma mistura curtida nas proporções de 3:2 de palha de café com esterco de galinha,

Figura 1 - Esquema de amostragem realizada na área experimental, em metros



além de 300 g de superfosfato simples. No primeiro ano após o plantio (formação da lavoura), foram feitas adubações mensais do formulado 25-00-25 com doses crescentes de 20 g planta⁻¹ até o limite de 50 g planta⁻¹, em três aplicações no período chuvoso. As adubações anuais de produção, a partir do segundo ano após o plantio, foram parceladas em quatro aplicações do formulado 25-00-25, conforme recomendações técnicas baseadas em análises de solo, de acordo com Prezotti *et al.* (2007).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise exploratória dos dados por meio da estatística descritiva, obtendo-se os seguintes parâmetros: média aritmética, mediana, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valor máximo e mínimo e coeficientes de assimetria e de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade, por meio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística, para a definição do modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos nesse estudo, obtendo-se assim os semivariogramas e posteriormente mapeamento de cada atributo químico estudado através da krigagem. A análise da dependência espacial foi feita 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), equação 1:

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

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 .

Os dados foram interpolados por meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma. Grego e Vieira (2005) ressaltam que as construções de mapas com os valores obtidos por meio de krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial. Artur *et al.* (2014), Bottega *et al.* (2013) e Lima, Silva e Silva (2013) utilizaram a técnica de krigagem como método de interpolação. Os modelos de semivariograma avaliados foram o esférico, gaussiano e exponencial. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada (rcv) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Foi calculada a razão de dependência espacial (GD), que é a proporção em percentagem do

efeito pepita (Co) em relação ao patamar (Co+C), dada pela equação 2:

$$GD = \frac{C_0}{C_0 + C} \cdot 100 \quad (2)$$

De acordo com Cambardella *et al.* (1994), a GD pode ser analisada pela seguinte classificação: dependência forte: $GD < 25\%$; dependência moderada: $GD 25$ a 75% ; e dependência fraca: $GD > 75\%$.

Foram também construídos mapas de variabilidade de acordo com a classificação para interpretação de resultados de solo (Tabela 1), para o Estado do Espírito Santo.

Tabela 1 - Níveis para interpretação de resultados analíticos segundo a classificação de Prezotti *et al.* (2007)

Variável	Baixo	Médio	Alto
Ca (cmol _c dm ⁻³)	< 1,5	1,5 - 4,0	> 4,0
Mg (cmol _c dm ⁻³)	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
P (mg dm ⁻³)	< 10	10 - 20	> 20
K (mg dm ⁻³)	< 60	60 - 150	> 150

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para macronutrientes do solo são apresentados na Tabela 2. Os valores das média e mediana de Ca e Mg estão próximos, mostrando haver distribuição simétrica, o que pode ser confirmado pelos valores próximos de zero da assimetria. Resultados semelhantes foram encontrado por Lima *et al.* (2014) que estudaram a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo de uma lavoura cultivada com pastagem.

O coeficiente de assimetria é uma medida utilizada para demonstrar como e quanto a distribuição de frequência se afasta da simetria: se Ass. > 0, a distribuição é assimétrica à direita; se Ass. < 0, a distribuição é assimétrica à esquerda; e se Ass. = 0, a distribuição é simétrica (GUIMARÃES, 2000). Valores positivos de assimetria, conforme encontrados nos macronutrientes em estudo (Ca, Mg, P e K) indicam distribuição assimétrica à direita. Contudo, somente o Ca apresentou distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk a 5%.

Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área

de estudo, tendo em vista que os semivariogramas apresentam patamares bem definidos (CAVALCANTE *et al.*, 2007b).

Já o coeficiente de curtose (Curt.) representa a dispersão ou achatamento da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. Se Curt. = 0, a distribuição é mesocúrtica; se Curt. < 0, a distribuição é platicúrtica; e se Curt. > 0, a distribuição é leptocúrtica (SILVA *et al.*, 2010). Nesse estudo todos os dados apresentaram distribuição leptocúrtica, com exceção do Mg, com distribuição platicúrtica.

De acordo com o Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo

proposto por Prezotti *et al.* (2007), os teores médios de Ca (< 1,5 cmol_c dm⁻³) e Mg (< 0,5 cmol_c dm⁻³) são classificados como baixos, K (60 - 150 mg dm⁻³) e P (> 20 mg dm⁻³) classificados como médio e alto, respectivamente. Isto demonstra haver necessidade de ajustes na adição de Ca e Mg através de uma calagem mais equilibrada para a lavoura avaliada.

De acordo com o critério proposto por Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação (CV) apresentou-se médio para Ca, Mg e K, e apresentou-se alto para P. Resultados semelhantes foram encontrados por Bottega *et al.* (2013) para todos atributos químicos e Oliveira *et al.* (2009) para Ca, Mg e K. Com relação ao alto valor de CV verificado para a variável P, esse fato

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de Ca, Mg, P e K obtidos a partir de 60 amostras de solo

Estatística Descritiva	Ca	Mg	P	K
	cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³	
Média	1,39	0,45	25,4	117,3
Mediana	1,35	0,40	16,2	100,0
DP	0,58	0,14	26,9	51,1
VA	0,34	0,02	720,9	2606,3
Mínimo	0,3	0,2	2,4	50,0
Máximo	3,1	0,8	131,1	370,0
CV	41,7	31,1	105,5	43,5
Ass.	0,36	0,04	2,37	2,37
Curt.	0,06	-0,37	6,05	8,75
p-valor	0,823*	0,020	1,55 10 ⁻⁹	1,72 10 ⁻⁶

DP - desvio padrão; VA - variância amostral; CV - coeficiente de variação; Ass. - coeficiente de assimetria; Curt. - coeficiente de curtose; *- distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade

Tabela 3 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para cálcio, magnésio, fósforo e potássio em uma lavoura de café conilon

Parâmetro	Ca	Mg	P	K
Modelo	Esf	Exp	Gau	Esf
Efeito Pepita (C ₀)	0,0095	0,00194	1,000	1,000
Patamar (C ₀ +C)	0,302	0,01948	1047,0	3021,0
Alcance (m)	8,1	32,4	10,0	8,4
RD	3,15	9,96	0,10	0,03
R ²	0,919	0,923	0,982	0,758
SQR	2,172 10 ⁻⁴	1,01 10 ⁻⁶	2865	172411
rcv	0,391	0,767	0,744	0,414

RD = razão de dependência espacial ($[C_0/(C_0+C)]*100$); R² = coeficiente de determinação; rcv = coeficiente de regressão da validação cruzada; SQR = soma de quadrado de resíduo; Esf = esférico; Exp = exponencial; Gau = gaussiano

pode ser atribuído ao modo de aplicação de insumos fosfatados e à baixa mobilidade do nutriente. Tal fato foi observado Machado *et al.* (2007), que trabalharam com sistema de plantio direto com a cultura do algodoeiro.

Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial (Tabela 3 e Figura 2). As variáveis Ca e K ajustaram-se ao modelo esférico, concordando com Santos, Gontijo e Silva (2013), enquanto o Mg e P ajustaram-se aos modelos exponencial e gaussiano, respectivamente. Segundo Grego e Vieira (2005), o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo.

De acordo com a classificação proposta por Cambardella *et al.* (1994), observou-se que todos os atributos químicos apresentaram dependência espacial forte. Resultados semelhantes foram encontrados por Artur *et al.* (2014) para as variáveis Ca e Mg, e Gomes *et al.* (2008) para a variável P.

Os valores de alcance variaram entre 8,1 e 32,4 metros, representado respectivamente pelas variáveis Ca e Mg. Na prática, o alcance ajustado (A_0) pelo modelo exponencial é três vezes o seu valor definido,

ou seja, é de 97,2 m. Atributos que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneos espacialmente, como pode ser observado no mapa de Mg (Figura 3). Por outro lado, baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação (CORÁ *et al.*, 2004).

Observa-se nos mapas dos nutrientes da lavoura de café conilon (Figura 3), que será necessário um manejo adequado em relação aos macronutrientes Ca, P e K para bom desenvolvimento da cultura, devido à suas largas faixas de baixas concentrações distribuídas ao longo da área de cultivo para P e K. Em relação ao Ca, verificam-se baixos índices na borda da lavoura, necessitando assim de aplicação do nutriente em questão no decorrer da área de cultivo, a taxas diferenciadas. Observaram-se para a distribuição do Mg (Figura 3), médias concentrações com maior proporção ao longo da área de cultivo.

Pela classificação adotada por Prezotti *et al.* (2007) (Tabela 1), as variáveis, de modo geral,

Figura 2 - Modelos de semivariogramas ajustados para cálcio, magnésio, fósforo e potássio. Valores entre parênteses são efeito pepita (Co), patamar (Co+C) e alcance (a), respectivamente. Esf = esférico; Exp = exponencial; Gau = gaussiano

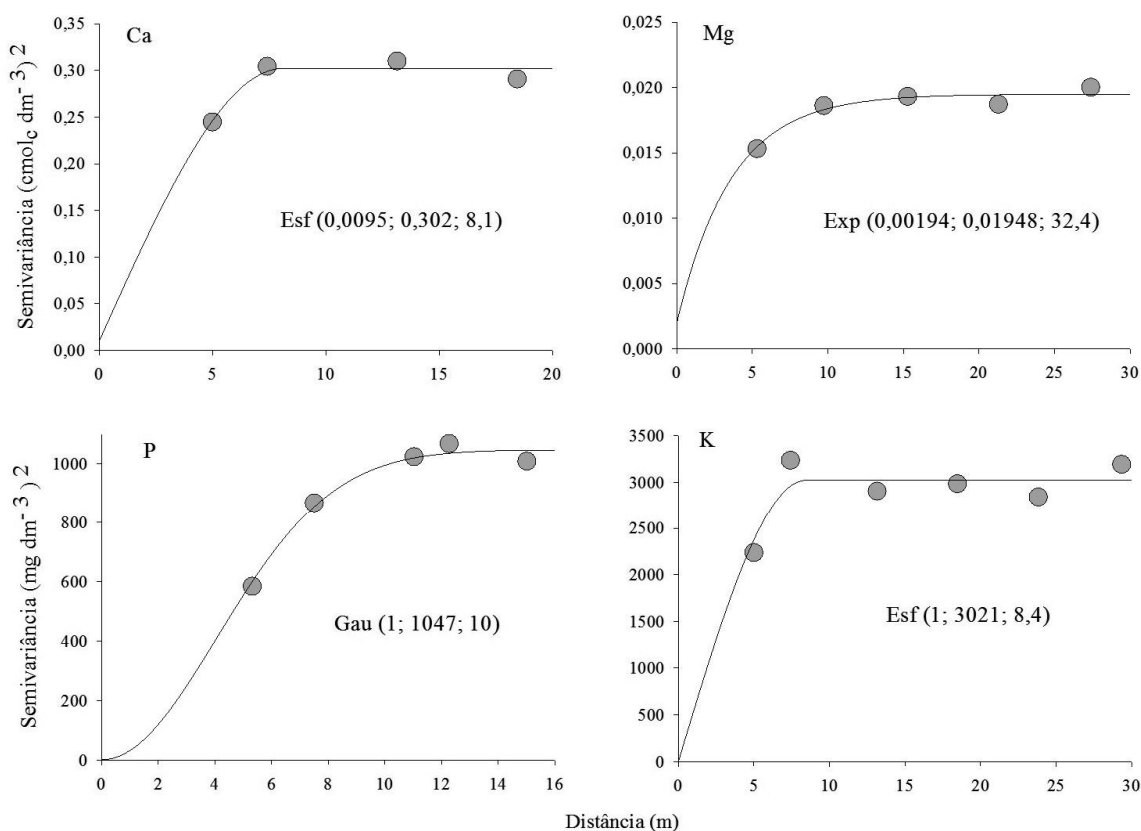


Figura 3 - Mapas das variáveis cálcio, magnésio, fósforo e potássio, em metros

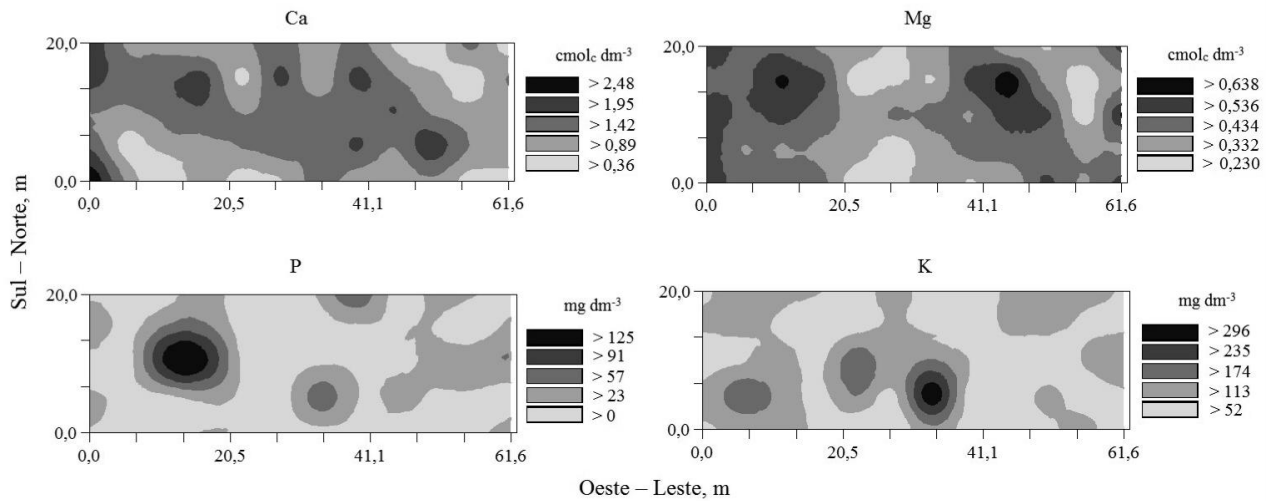
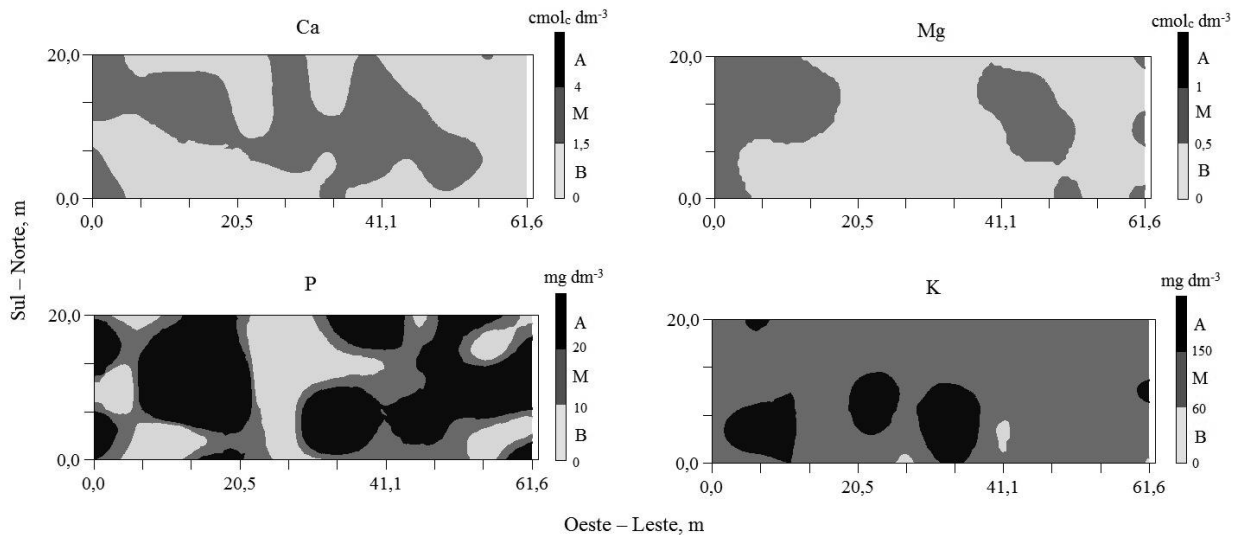


Figura 4 - Mapas das variáveis cálcio, magnésio, fósforo e potássio, de acordo com a classificação de Prezotti *et al.* (2007), em metros. A - Valores altos, M - Valores médios e B - Valores baixos



apresentaram distribuição heterogênea ao longo da área de cultivo, destacando-se o Ca e o P (Figura 4), com uma predominância de níveis baixo e médios para o Ca. A distribuição do P no solo foi heterogênea com teores variando de baixo a alto na área (Figura 3). Tal fato pode ser confirmado pelo elevado coeficiente de variação (105,5%) desse nutriente no solo (Tabela 2). Para Mg e K (Figura 4), observaram-se predominância de níveis baixos e médios, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Todos os macronutrientes em estudo apresentaram grau de dependência espacial forte;
2. O maior alcance de dependência espacial foi para Mg (32,4 m) e o menor para Ca (8,1 m);
3. O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo pela krigagem, mostrou-se uma

importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial dos macronutrientes no solo, podendo ser fundamental no auxílio à tomada de decisão que vise atender a exigência nutricional na lavoura do café conilon.

REFERÊNCIAS

- ARTUR, A. G. *et al.* Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.
- BOTTEGA, E. L. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A. E. *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007a.
- CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007b.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira, café safra 2011, primeira estimativa**. Brasília: MAPA/CONAB, janeiro, 2011.
- 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. 6, p. 1013-1021, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR. Sistema para análise de variância, para Windows versão 4.3**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences**. Version 7.0. Michigan, 2004. 1 CD-ROM.
- GOMES, J. B. V. *et al.* Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2471-2482, 2008.
- 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. 2, p. 169-177, 2005.
- GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- LIMA, G. C. *et al.* Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014.
- LIMA, J. S. S., SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.
- MACHADO, L. O. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 591-599, 2007.
- MATTIELLO, E. M. *et al.* Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 425-434, 2008.
- OLIVEIRA, P. C. G. *et al.* Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 708-715, 2009.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.
- PIRES, F. R. *et al.* Levantamento da fertilidade nas principais unidades de mapeamento do Espírito Santo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 34, n. 2, p. 115-123, 2003.
- PREZOTTI, L. C. *et al.* **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo: - 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. 305 p.
- REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.
- SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; SILVA, M. B. Planejamento amostral de propriedades químicas do solo em lavoura de café conilon. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 423-431, 2013.
- SILVA, S. A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.
- SOUZA, G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob o cultivo da cana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.

SOUZA, Z. M. *et al.* Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004.

VIEIRA, S. R. *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, p. 1-15, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p. 319-44.