

AGRICULTURA DE PRECISÃO NO ESTUDO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE LAVOURA CAFEIEIRA

Gabriel Araújo e Silva Ferraz¹, Fábio Moreira da Silva², Pedro Augusto Negrini da Costa³, Antonio Carlos Silva⁴, Francisval de Melo Carvalho⁵

(Recebido: 16 de abril de 2010; aceito 20 de novembro de 2011)

RESUMO: A agricultura de precisão surge como uma importante ferramenta para melhorar o gerenciamento de fazendas cafeeiras. O conhecimento de determinadas características relacionadas à fertilidade do solo, associada à resposta de produção do cafeeiro, podem facilitar a aplicação localizada e racional dos insumos, com resultados ambientais e econômicos positivos. Objetivou-se, com esse trabalho, utilizar ferramentas de agricultura de precisão e de geoestatística para avaliar a disponibilidade de fósforo, potássio e a produtividade do cafeeiro por meio de análises dos semivariogramas e de mapas de isolinhas, obtidos por krigagem, com o intuito de demonstrar que essas ferramentas são de grande valia para o manejo da fertilidade do solo na cultura do café. Este trabalho foi conduzido na fazenda Brejão, no município de Três Pontas, Minas Gerais, utilizando-se os atributos químicos do solo-fósforo e potássio amostrados com o auxílio de um quadriciclo equipado com calador e dados de produtividade obtidos por meio de colheita manual, ambos em pontos georreferenciados. A análise desses dados por meio das técnicas estatísticas e geoestatísticas possibilitaram caracterizar a variabilidade espacial do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira, permitindo-se a análise da relação entre essas variáveis. Foi possível observar que houve dependência espacial o que permitiu a confecção de mapas de distribuição espacial das variáveis.

Palavras-chave: Geoestatística, variabilidade espacial, krigagem, semivariograma, cafeeiro.

PRECISION AGRICULTURE TO STUDY SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND THE YIELD OF A COFFEE FIELD

ABSTRACT: Precision agriculture appears as an important tool in the management of coffee farms where the knowledge of some soil fertility characteristics associated with the coffee production could help in specific application of fertilizers with positive environmental and economic results. So the aim of this article was to use precision agriculture and geostatistics to evaluate the availability of phosphorus, potassium and yield of the coffee plant by evaluating the semivariogram and kriging maps and show that these tools are important for coffee management. This study was conducted on the Brejão farm in Três Pontas, Minas Gerais state, Brazil. As a data base we used soil chemical property data obtained by sampling in a georeferenced location using a quadricycle with a sampler and a GPS, and the yield data was obtained from manual harvest on the georeferenced location. The analysis of these data by using statistics and geostatistics tools allowed to characterize the spatial variability of the phosphorus, potassium, and the coffee yield, and allowed to analyze the relation among these variables. It was possible to observe that spatial dependence exists so it is possible to create maps of spatial distribution of the variables.

Key words: Geostatistic, spatial variability, kriging, semivariogram, coffee plant.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas na pauta das exportações brasileiras, constituindo um

grande fornecedor de receitas cambiais (SILVA; REIS, 2001). É uma das culturas mais importantes para a economia do país. Neste contexto, é de suma relevância o conhecimento profundo de todas etapas

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRJ - Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia - (IT/DE) - Rodovia BR 465 - Km 7 - 23.890-000 - Seropédica - RJ - gabrielferraz@ufrj.br

²Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - famsilva@ufla.br

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - pedro.negrini1@gmail.com

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - engcarlinhos@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Administração e Economia/DAE - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - francarv@dae.ufla.br

de manejo da cultura que estão envolvidos desde o plantio até a colheita dos frutos do cafeeiro.

Além disso, a produtividade da cultura do café (*Coffea arabica* L.) sofre oscilações devido a fatores climáticos (CARVALHO et al., 2004), ocorrência de infestações fitossanitárias (CHALFOUN et al., 1978), característica fisiológica da cultura (RENA et al., 1996), sistema de plantio adotado, densidade e população de planta (TOLEDO; BARROS, 1999), declividade e posição topográfica (SOUZA et al., 2004), dentre outros fatores ainda não bem elucidados (CARVALHO et al., 2006). Devido à diversidade de fatores que influenciam a produtividade do cafeeiro, o manejo da lavoura de forma homogênea pode acarretar na redução de rentabilidade do produtor rural. Nesse sentido, análises espaciais de produtividade podem possibilitar o gerenciamento mais eficiente do processo produtivo.

Outro fator muito importante que deve ser analisado é o solo. Na atividade cafeeira, ainda hoje, muitos produtores não realizam análises do solo com a frequência necessária, e dessa forma, desconhecem os parâmetros mínimos necessários para o manejo da fertilidade de forma racional e eficiente. O estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo tem grande importância na escolha de uma área experimental, na coleta de amostras e interpretação de resultados, no levantamento e classificação de solos e nos esquemas de uso racional de fertilizantes (SILVA et al., 2003).

A agricultura de precisão surge como um conjunto de tecnologias que são capazes de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias de manejo a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento do processo de produção, podendo maximizar a rentabilidade das colheitas e reduzir os custos de aplicação de insumos, tornando a atividade mais competitiva (CARVALHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2007; SILVA; SOUZA; ALVES, 2008). Dessa maneira, o emprego das técnicas de agricultura de precisão, na produção de café, pode ser definido como cafeicultura de precisão

A geoestatística é uma ferramenta importante para análise de dados, no âmbito da agricultura de precisão. Segundo Vieira (2000), o objetivo da geoestatística aplicada à agricultura de precisão é caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer estimativa, utilizando o

princípio da variabilidade espacial a fim de se identificar inter-relações desses atributos no espaço e no tempo, além de permitir estudar padrões de amostragem adequada.

Objetivou-se, neste estudo, utilizar técnicas de agricultura de precisão aliadas às ferramentas da geoestatística, para avaliar a disponibilidade de fósforo, potássio e a produtividade do cafeeiro por meio das análises dos semivariogramas e de mapas de isolinhas obtidos por krigagem, demonstrando que essas ferramentas são de grande valia para o manejo da cultura do café.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na fazenda Brejão, localizada no município de Três Pontas, sul de Minas Gerais, em uma área de 22 hectares de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Topásio com dois anos e sete meses de idade, plantada no espaçamento de 3,8m entre linhas e 0,8m entre plantas, totalizando 3289 plantas ha⁻¹. A coordenada geográfica do ponto médio da área é 21°25'58" de latitude sul e 45°24'51" de longitude oeste de Greenwich. Os pontos limites da área foram obtidos por meio do uso de GPS geodésico.

Para a coleta dos dados de produtividade demarcou-se na área uma malha irregular, num total de 54 pontos amostrais georreferenciados. Para a demarcação desses pontos foi utilizado o GPS de navegação Garmim ETREX. Cada ponto amostral corresponde a quatro plantas, sendo duas plantas localizadas na rua de cafeeiros, na qual o ponto amostral foi demarcado e uma planta de cada rua lateral ao ponto.

A produtividade de café (L planta⁻¹) foi obtida por meio da colheita manual sobre panos das 4 plantas em torno do ponto amostral e o volume colhido de cada planta, após a abanação, foi medido em recipiente graduado em litros. Após essa medição foi retirada a média de produtividade dessas 4 plantas, resultando no valor de produtividade para o ponto amostral. Como tratam-se de plantas jovens, os dados de produtividade colhidos em julho de 2008 representaram a primeira safra desse cafezal, além de representar também, a produtividade do ano agrícola 2007-2008.

Para a coleta dos dados de fertilidade do solo foi demarcada na área uma malha de 1 ponto por hectare, num total de 22 pontos amostrais georreferenciados. Para a demarcação dos pontos de coleta e para

amostragem de solo foi utilizado um quadríciclo com broca pneumática e GPS geodésico. Em cada hectare foi realizado um caminhamento aleatório para a coleta de 8 subamostras que foram homogeneizadas e geraram 1 amostra composta. Tais subamostras foram retiradas na projeção da saia do cafeeiro de 0 a 20 cm de profundidade, em julho de 2007.

As amostras de solo foram enviadas a um laboratório para análise da disponibilidade de fósforo e potássio (Mehlich-1).

Os dados foram, inicialmente, avaliados por meio da estatística descritiva, tomando por base as seguintes medidas: média, mediana, valor máximo, valor mínimo, primeiro e terceiro quartil, além da geração dos gráficos de Box-plot. Esses gráficos possibilitam a representação de uma variável aleatória, uma vez que fornece uma idéia de posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes da distribuição. A caixa central (*box*) mostra os dados entre o primeiro e terceiro quartis (*hinge*), com a mediana representada por uma linha dentro da caixa. Linhas verticais (*whiskers*), iniciando no meio da base (e do topo) da caixa e terminando em valores extremos (denominados adjacentes inferior e superior) indicam, aproximadamente, a variabilidade dos dados (MCGILL; TUKEY; LARSEN, 1978).

A dependência espacial da disponibilidade de fósforo, potássio e da produtividade da lavoura cafeeira foram analisadas por meio de ajustes de semivariogramas e interpolação por Krigagem. O semivariograma é estimado de acordo com a equação 1:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Equação 1}$$

onde $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C$; e o alcance, conforme descrito por Vieira et al. (1983).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial:

- Forte: os semivariogramas com efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar $\left(\frac{C_0}{C_0 + C} \leq 0,25\right)$

- Moderada: quando os semivariogramas estão entre 25 e 75 % do patamar ; $\left(0,25 \leq \frac{C_0}{C_0 + C} \leq 0,75\right)$

- Fraca: quando o efeito pepita for maior ou igual a 75 % do patamar . $\left(\frac{C_0}{C_0 + C} \geq 0,75\right)$

O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função dos mínimos quadrados ordinários, testando-se os modelos esférico, exponencial e o gaussiano. Após o ajuste dos semivariogramas foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial das variáveis na lavoura.

Para a análise geoestatística e para a plotagem dos mapas foi utilizado sistema computacional estatístico R Development Core Team, por meio de sua biblioteca geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001). Os mapas foram gerados na coordenada Universal Transversa de Mercator (UTM) na zona 23K, na qual está inserida a região de Três Pontas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva da disponibilidade de fósforo e potássio em 2007 e da produtividade da lavoura cafeeira em 2008 são apresentados na Tabela 1. O valor mínimo encontrado para o fósforo foi de 3 mg dm⁻³ e seu valor máximo foi de 64 mg dm⁻³, para o potássio o valor mínimo foi de 143 mg dm⁻³ e o máximo de 226 mg dm⁻³ e para produtividade foi de 0,025 L planta⁻¹ e o máximo de 3,95 L planta⁻¹ (Tabela 1). Esses valores demonstram que existe uma variabilidade dessas variáveis, porém não são suficientes para mostrar onde esta variabilidade está ocorrendo.

A partir da análise dos gráficos de Box-plot, representados (Figura 1), é possível observar que a produtividade e a disponibilidade de potássio não apresentaram valores discrepantes, ou seja, acima das linhas verticais, já os dados de disponibilidade de fósforo apresentaram valores acima, podendo significar que algumas áreas possuíam fósforo acima dos valores normais da área total.

TABELA 1 – Média, mediana, valores do 1º e 3º quartil e valores máximos e mínimos dos dados de fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}) na profundidade de 0,0-0,2 m e produtividade da cultura do café (L planta^{-1}).

	Fósforo (P)	Potássio (K)	Produtividade
1º Quartil	6	166,5	0,6656
Média	16,14	185,2	1,452
Mediana	8	186	1,212
Mínimo	3	143	0,025
Máximo	64	226	3,95
3º Quartil	20,75	202.5	2,269

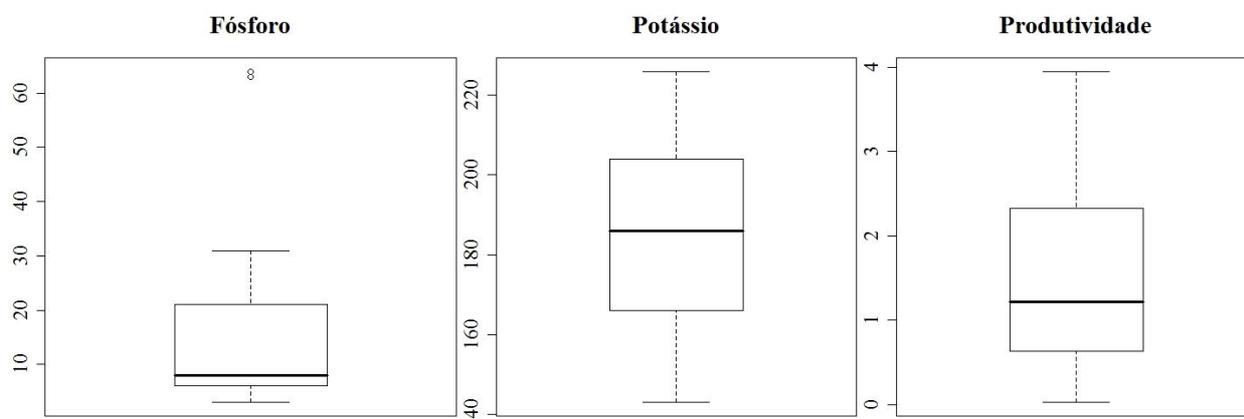


FIGURA 1 – Gráfico de Box-plot da disponibilidade de fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}) e da produtividade (L planta^{-1}) da lavoura cafeeira.

Baseando-se na metodologia de análise geostatística, foi possível quantificar a magnitude e a estrutura de dependência espacial de todas as variáveis e em todos os anos estudados, pois o valor absoluto da diferença entre duas amostras observadas aumentou quando as amostras se distanciavam, até um valor no qual a localidade não mais exercia influência, o que culminou na estabilidade do semivariograma experimental, a partir da distância que separa a variabilidade estruturada da aleatória (Tabela 2 e Figura 2).

De acordo com Webster e Oliver (2007), o modelo matemático esférico de ajuste de semivariograma é o mais frequentemente utilizado em geostatística. Silva et al. (2007, 2008), realizando estudos em uma lavoura cafeeira, encontram que o modelo esférico ajustou-se tanto para as variáveis fósforo e potássio quanto para a produtividade. Silva

et al. (2010), em seus estudos de uma lavoura cafeeira em três safras, ajustaram o modelo esférico para a produtividade. Neste trabalho, o modelo esférico foi o que melhor ajustou-se ao semivariograma referente à disponibilidade de fósforo, de potássio e, também, para a produtividade da lavoura cafeeira.

O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, considerando-se a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY; WEBSTER, 1986). Esse parâmetro pode ser expresso como porcentagem do patamar e tem o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (TRANGMAR, 1985). Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), a análise da relação $C_0/(C_0+C_1)*100$ da

disponibilidade de fósforo (0) e produtividade (12,79) apresentaram grau de dependência espacial forte e a disponibilidade de potássio (36,67) apresentou um grau de dependência moderado (Tabela 2).

Molin et al. (2002), em seus estudos da variabilidade dos atributos químicos em dois campos experimentais com lavoura cafeeira, utilizando o modelo esférico para a disponibilidade de fósforo e potássio encontraram valores de grau de dependência forte sendo iguais a 0,07 para fósforo e 0,08 para o potássio para o campo 1 e 41,1 para o fósforo e 5,7 para o potássio representando grau de dependência moderado e forte respectivamente para o campo 2. Nos estudos de Silva, Souza e Alves (2008) para a produtividade do cafeeiro, nos anos de 2006 e 2007, foi observado o mesmo grau de dependência nos anos em estudo, sendo igual a 20, representando dessa forma grau de dependência forte.

Os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, o que pode ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (TRANGMAR, 1985). As variáveis apresentaram diferentes alcances de dependência espacial. A disponibilidade de fósforo apresentou o menor alcance (131,37 m), já a disponibilidade de potássio apresentou o maior alcance (249,50 m) e a produtividade do cafeeiro apresentou alcance de 212,26 m (Tabela 2). Ao estudar as variáveis produtividade do cafeeiro, disponibilidade de fósforo e potássio para os anos agrícolas de 2002-2003 e 2003-2004, Silva et al. (2008) encontraram o alcance para a disponibilidade de potássio da ordem de 142,08 m e 188,02 m; para a

disponibilidade de fósforo 86,05 m e 210,04 m; e para produtividade 65,04 m e 60,43 m.

Os mapas da disponibilidade de fósforo e potássio em 2007 e produtividade da cultura de café em 2008, apresentaram valores variando de 3 a 64 mg dm⁻³ e 143 a 226 mg dm⁻³ e de 0,025 a 3,95 L planta⁻¹, respectivamente (Tabela 1 e Figura 3). Observa-se uma grande amplitude nos atributos químicos avaliados. Essa grande amplitude revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores para o manejo da fertilidade, pois em alguns locais da área a aplicação de fertilizante será inferior à dosagem necessária, em outros será aplicado de forma ideal, e em outros poderá haver aplicação excessiva, e a adubação em taxas diferenciadas surge para corrigir tais problemas. Porém somente o conhecimento dessa amplitude não é suficiente para saber quais são os locais em que se encontram os altos teores e os locais onde se encontram os teores mais baixos de uma determinada variável. Dessa forma, deve-se realizar a produção de mapas para possibilitar o gerenciamento satisfatório das intervenções necessárias.

Observa-se na figura 3, que as cores mais escuras significam menores valores e as cores claras os maiores valores. Observa-se ainda, a existência de grande variabilidade dos atributos e também como as variáveis são dependentes do espaço. Nota-se ainda, uma correlação inversa espacial entre os mapas de fósforo e potássio com o mapa de produtividade, ou seja, vários locais de menores valores no mapa de fósforo e potássio, obtidos no ano de 2007, anterior à aplicação de adubo, coincidem com os maiores valores no mapa de produtividade da cultura de café, em 2008.

TABELA 2 – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a disponibilidade de fósforo (mg dm⁻³), potássio (mg dm⁻³) na profundidade de 0,0-0,2 m e produtividade da lavoura cafeeira (L planta⁻¹).

	Fósforo (P)	Potássio (K)	Produtividade
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico
Efeito pepita (C ₀)	0	240,97	0,13
Contribuição (C ₁)	315,38	416,04	0,93
Patamar (C ₀ +C ₁)	315,38	657,01	1,06
Alcance (a) (m)	131,37	249,50	212,26
Grau de Dependência [C ₀ /(C ₀ +C ₁)]x100	0	36,67	12,79

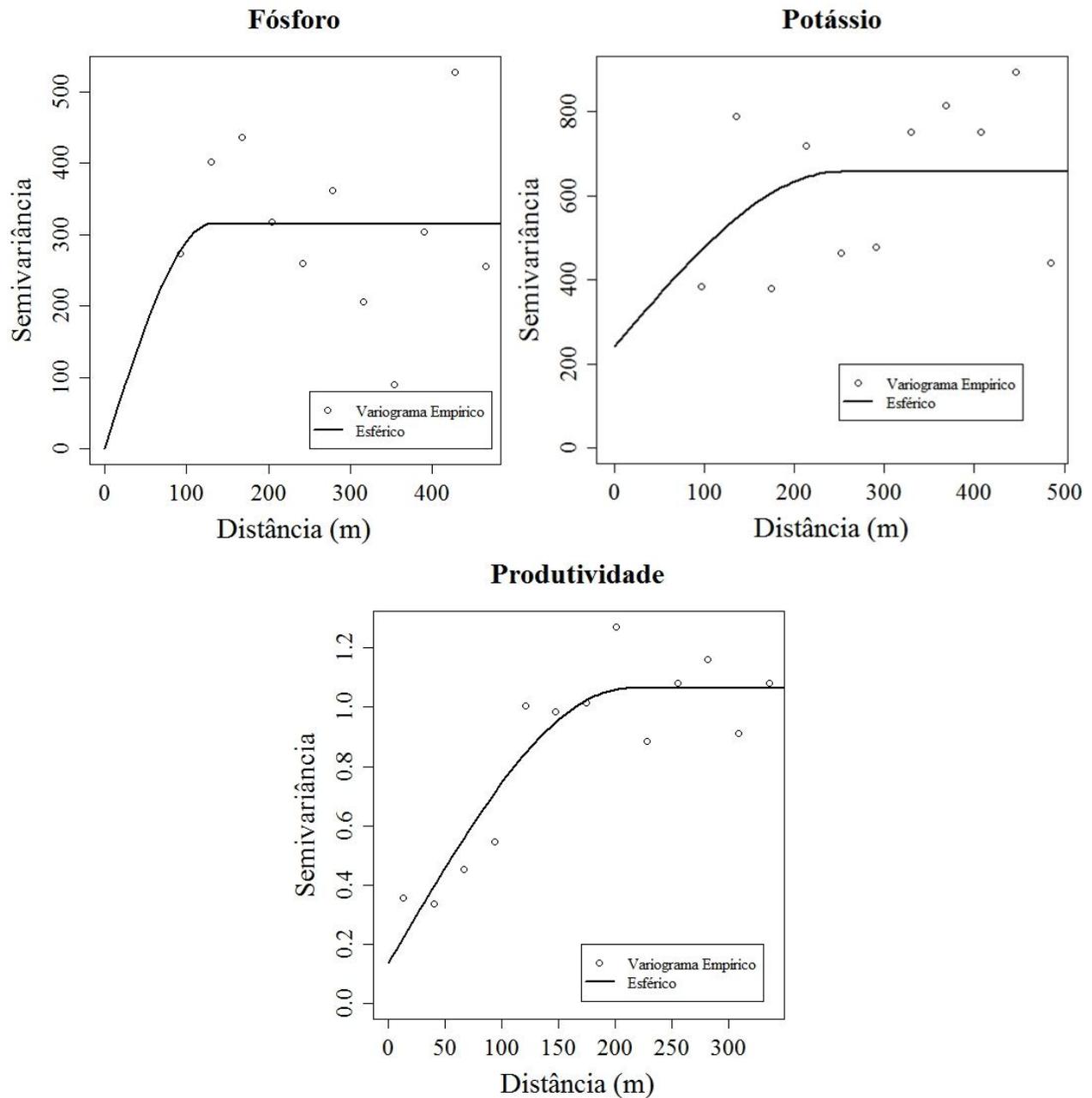


FIGURA 2 – Semivariogramas das variáveis químicas: potássio (mg dm^{-3}) e fósforo (mg dm^{-3}) na profundidade de 0,0-0,2 m e produtividade da lavoura cafeeira (L planta^{-1}).

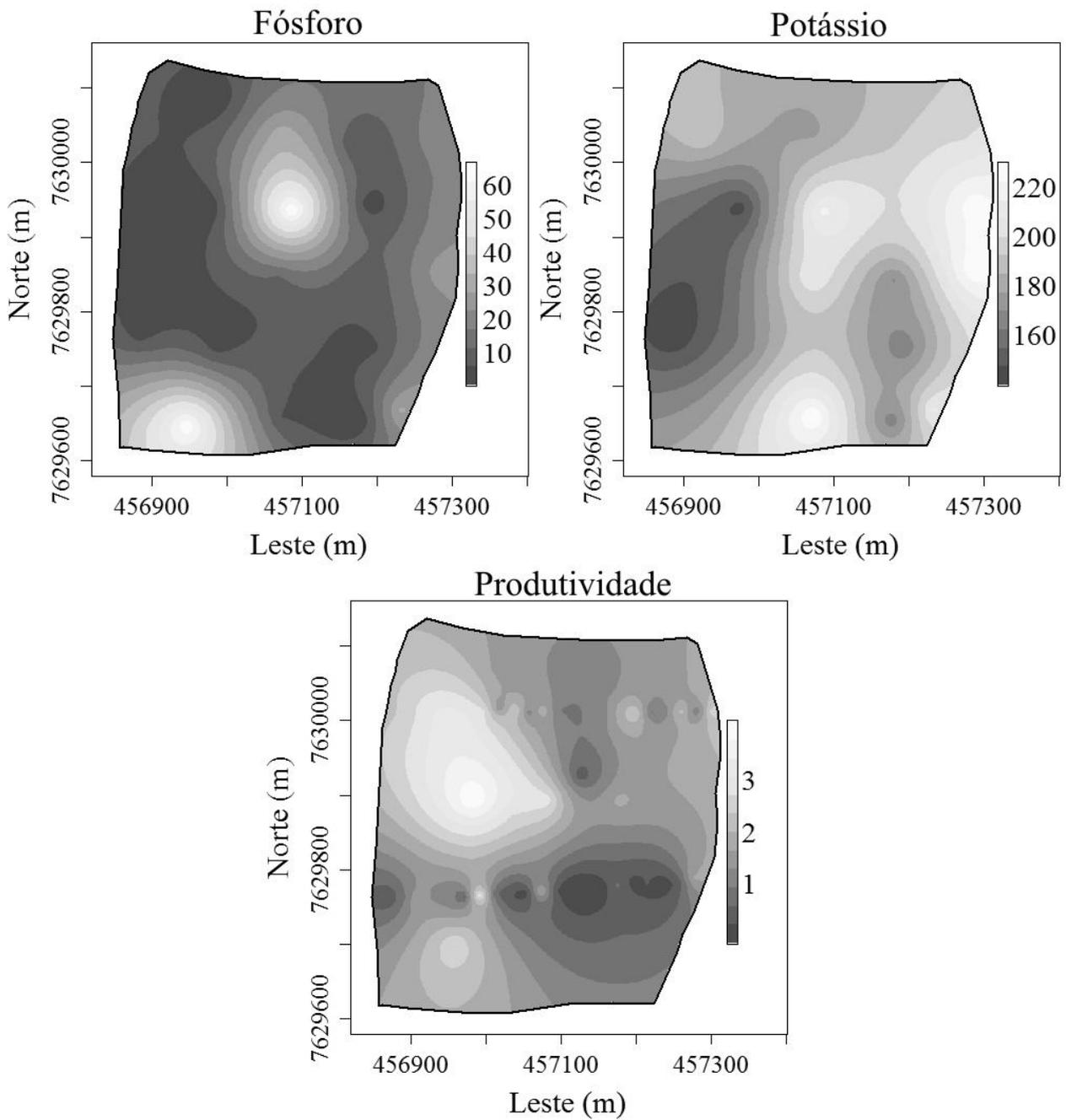


FIGURA 3 – Distribuição espacial do fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}) na profundidade 0,0 a 0,2m em 2007 e da produtividade da lavoura cafeeira, em 2008 (L planta^{-1}).

4 CONCLUSÕES

Foi possível caracterizar a variabilidade espacial da disponibilidade de fósforo e potássio e, também, da produtividade da lavoura cafeeira. A disponibilidade de fósforo, potássio e a produtividade apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o mapeamento através do uso da krigagem. Dessa forma, o uso da geoestatística pode ser utilizado na agricultura de precisão, em áreas de lavouras cafeeiras.

A variabilidade representada na forma de mapas é uma ferramenta valiosa para o cafeicultor, pois esses podem observar os locais onde devem se realizar intervenções em suas lavouras de forma mais precisa.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, G. R. et al. Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 838-843, set./out. 2006.
- _____. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, jan./fev. 2009.
- CARVALHO, L. G. et al. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.
- CHALFOUN, S. M. et al. Relação entre diferentes níveis de infecção de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e produção dos cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em algumas localidades de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 6., 1978, Ribeirão Preto. **Resumos...** Rio de Janeiro, 1978. p. 392-394.
- MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, 1986.
- Coffee Science, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012
- MCGILL, R.; TUKEY, J. W.; LARSEN, W. A. Variations of box plots. **The American Statistician**, New York, v. 32, n. 1, p. 12-16, 1978.
- MOLIN, J. P. et al. Precision agriculture for coffee in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. **Proceedings...** Minnesota: ASA/CSSA/SSSA, 2002. p. 578-587.
- OLIVEIRA, E. et al. Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1826-1830, nov./dez. 2007.
- RENA, A. B. et al. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 2., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1996. p. 73-85.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR, a package for geostatistical analysis. **R-News**, New York, v. 1, n. 2, p. 1609-1612, 2001.
- SILVA, F. M. da et al. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun. 2010.
- _____. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, mar./abr. 2007.
- _____. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 231-241, 2008.
- SILVA, F. M. da; SOUZA, J. C. S. de; ALVES, M. C. Influence of manual harvest in the spatial variability of coffee yield and defoliation along two agricultural harvests. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 9., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CIGR, 2008. 1 CD-ROM.
- SILVA, J. M.; REIS, R. P. Custo de produção do café na região de Lavras, MG: estudo de casos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1287-1294, nov./dez. 2001.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1215-1221, nov./dez. 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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, nov./dez. 2004.

TOLEDO, S. V. de; BARROS, I. de. Influência da densidade de plantio e sistema de podas na produção de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1379-1384, ago. 1999.

TRANGMAR, B. B. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1- 54.

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

WEBSTER, R.; OLIVER, M. **Geostatistics for environmental scientists**. Chichester: J. Wiley, 2007. 315 p.