

COKRIGAGEM NA ESTIMATIVA DO FÓSFORO REMANESCENTE EM CULTIVO DE CAFÉ ARÁBICA

Samuel de Assis Silva¹, Gustavo Soares de Souza¹, Moisés Zucolloto¹, Julião Soares de Souza Lima²

¹Mestrando Produção Vegetal/UFES, Alegre – ES, e-mail: samuel-assis@hotmail.com

²Prof. Associado/UFES/Departamento de Engenharia Rural, Alegre - ES, e-mail: limajss@yahoo.com.br

Resumo- O objetivo deste trabalho foi estimar os valores de fósforo remanescente com base nos dados de altitude utilizando cokrigagem na estimativa. O estudo foi realizado na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Reduto, em uma área cultivada com *Coffea arabica* L. variedade catuaí. O solo foi amostrado na profundidade de 0 – 0,2 m e na projeção das copas de três plantas, totalizando 50 pontos georreferenciados. Os valores encontrados foram analisados por meio das medidas de posição e dispersão na análise da estatística descritiva e exploratória e também análise de correlação entre o fósforo remanescente (P-Rem) e a altitude, procedendo-se em seguida a análise geoestatística. Os dados foram interpolados por krigagem ordinária e cokrigagem. A cokrigagem demonstrou bem a variação do P-Rem em função da altitude, evidenciando a influência da declividade sobre a distribuição deste atributo.

Palavras-chave: Geoestatística, variabilidade espacial, fertilidade do solo, interpolação

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

Os solos das regiões tropicais, além da deficiência generalizada, apresentam alta capacidade de fixação de fosfato (adsorção e precipitação), limitando a produtividade das culturas nessas áreas (RAIJ, 1991). Nesses solos altamente intemperizados, predominam os minerais de argila 1:1, como a caulinita e os óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de P. A magnitude desse fenômeno é influenciada pela natureza e quantidade dos sítios de adsorção, os quais variam de acordo com os fatores intrínsecos e extrínsecos ao próprio solo. Dentre esses fatores, destacam-se a mineralogia, a textura, o pH, o balanço de cargas, a matéria orgânica, o tipo de ácidos orgânicos e a atividade microbiana do solo (BAHIA FILHO et al., 1983).

A disponibilidade dos fosfatos depende das formas em que ocorre no solo, não havendo, portanto, uma determinação que avalie diretamente essa disponibilidade. Entretanto, essa disponibilidade pode ser estimada através do fósforo-remanescente (P-rem), o qual apresenta estreita correlação com a capacidade tampão dos fosfatos (medida da variação do P-labil / P-solução) e a capacidade máxima de absorção de fósforo pelo solo.

A cokrigagem é um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto,

com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da krigagem quando para cada local amostrado obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor (ANGELICO, 2006).

O objetivo deste trabalho foi estimar os valores de fósforo remanescente com base nos dados de altitude utilizando cokrigagem na estimativa.

Metodologia

O estudo foi realizado na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Reduto, em uma área cultivada com *Coffea arabica* L. variedade catuaí, no espaçamento de 2,0 x 0,60m, localizada a 20° 45' 45,4' de latitude S e 41° 32' 9,75' de longitude W. A área apresenta diferença de nível acentuada com 30° de declividade e altitude superior a 800m. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo húmico com horizonte A bastante espesso e rico em matéria orgânica, conforme classificação apresentada pela Embrapa (1999).

O solo foi amostrado na profundidade de 0 – 0,2 m e na projeção das copas de três plantas, totalizando 50 pontos georreferenciados.

Os valores encontrados foram analisados por meio das medidas de posição e dispersão na análise da estatística descritiva e exploratória e também análise de correlação entre o fósforo remanescente (P-Rem) e a altitude. Para a verificação da presença de candidatos a valores

discrepantes “outliers” foram analisados os quartis superiores e inferiores e a normalidade testada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$) utilizando o software Statistica.

A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca e conforme equação:

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

em que: $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

Para estimar valores de P-Rem em locais não amostrados e confeccionar o mapa de isolinhas, utilizou-se a krigagem ordinária. A espacialização desse atributo em função da altitude foi realizada utilizando-se a extensão multivariada da krigagem, conhecida como cokrigagem. Esta estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o semivariograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis.

A análise geoestatística, bem como as interpolações, foi realizada no software GS^+ , sendo os mapas confeccionados no software Surfer.

Resultados

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da análise descritiva do P-Rem e da Altitude após a retirada dos valores discrepantes (“outliers”).

Tabela 1. Estatística descritiva do fósforo remanescente (P-Rem) e da altitude em área sob cultivo de café arábica.

Estatística	Variáveis	
	P - Rem	Altitude
Média	20,32	846,36
Mediana	20,60	848,53
Mínimo	11,30	814,82
Máximo	29,00	877,05
CV %	20,60	2,12
s	4,19	17,95
C_s	-0,24	-0,18
C_k	-0,53	-0,12
KS	ns	ns
Correlação	0,73*	

P-Rem ($mg L^{-1}$); Altitude (m); s - desvio-padrão; CV - coeficiente de variação; C_s - Coeficiente de simetria; C_k - coeficiente de curtose; ns distribuição normal pelo teste

Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade; * correlação significativa a 5% de probabilidade.

Na Tabela 2, encontram-se os resultados da análise geoestatística apresentando os modelos e parâmetros dos semivariogramas médios do P-Rem, da Altitude e o semivariograma cruzado entre Altitude e P-Rem.

Tabela 2. Modelos e parâmetros dos semivariogramas médios das variáveis fósforo remanescente (P-Rem) e altitude e semivariograma cruzado entre essas em aruás variáveis.

Parâmetros	Variáveis		
	P - Rem	Altitude	Alt x P-Rem
Modelo	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano
C_0	8,00	1,00	0,10
$C_0 + C$	17,00	630,00	116,00
A_0	45,00	75,00	78,00
R^2	67	93	90
IDE	53	99	99

Nas Figuras 1, 2 e 3 estão apresentados os semivariogramas médios da Altitude, P-Rem e o semivariograma cruzado entre essas variáveis.

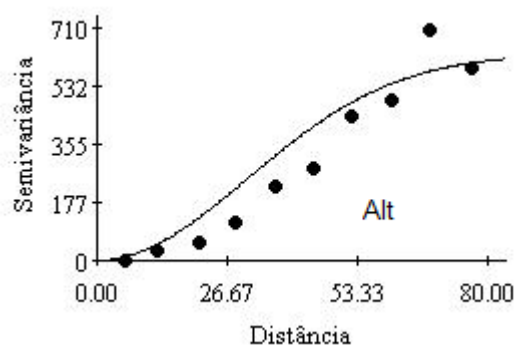


Figura 1. Semivariograma médio da altitude em área sob cultivo de café arábica.

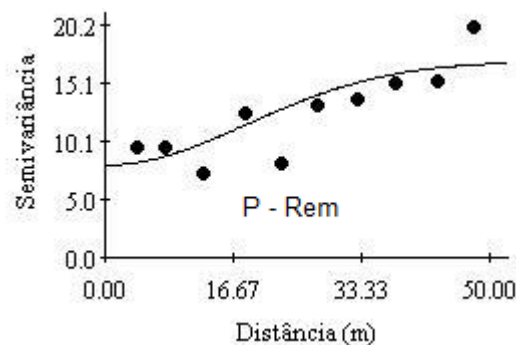


Figura 2. Semivariograma médio do P-Rem em área sob cultivo de café arábica.

Discussão

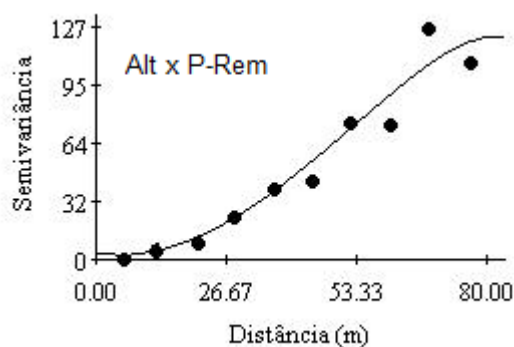


Figura 3. Semivariograma cruzado da altitude e P-rem em área sob cultivo de café arábica.

Na Figura 4 é apresentada a distribuição espacial da variável P-Rem, estimado por krigagem com base no modelo do semivariograma médio desta variável.

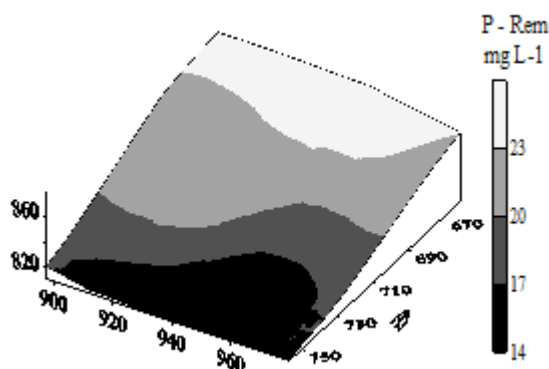


Figura 4. Mapa de krigagem ordinária da variável P-rem.

Na Figura 5 é apresentado a estimativa do P-Rem em função dos valores de altitude, obtido pelo semivariograma cruzado entre as variáveis e estimados por cokrigagem.

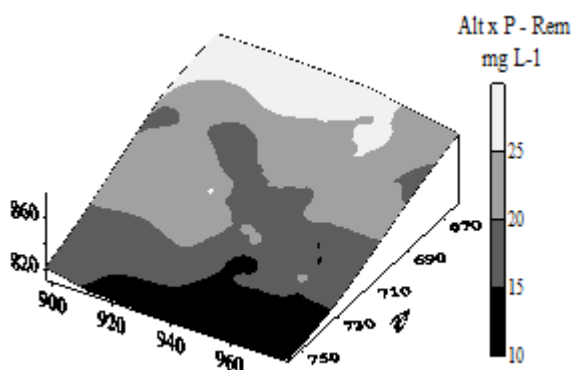


Figura 5. Mapa de cokrigagem do P-Rem estimado através dos valores de altitude.

As medidas de tendência central (média e mediana) são bem próximas para as duas variáveis (Figura 1), indicando uma distribuição simétrica dos dados, conforme confirmado pelos valores de simetria e curtose próximos de zero. De acordo com Isaaks & Srivastava (1989) o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que a média, mediana e o desvio-padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Esses valores são um indicio de distribuição normal, a qual é afirmada pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov não significativo. Paz-Gonzalez et al. (2001) afirmam que quando satisfeita a normalidade dos dados a estimativa de valores em locais não medidos utilizando o método da krigagem na interpolação tem sua eficiência aumentada, apresentando melhores resultados em relação a outros métodos.

Analisando a variabilidade através do CV, constatamos que, a altitude apresentou baixa variação, enquanto que o P-rem apresentou média variação de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), de baixa para $CV < 12\%$; média de $12\% < CV < 60\%$ e alta para $CV > 60\%$. A maior variação observada para o P-rem é justificada pela sua maior amplitude proporcional. Esse alto CV, também observado por Silva et al. (2008) também trabalhando com café, é provavelmente devido aos efeitos residuais de adubações anteriores, haja visto que o fósforo apresenta baixa mobilidade e, geralmente, é adicionado na linha na superfície do solo.

Ainda na Tabela 1, verifica-se a correlação linear o P-rem e a altitude a qual será utilizada como co-variáveis para estimar o atributo químico. A correlação linear é uma exigência da cokrigagem, logo, para serem utilizadas como co-variáveis é necessário que as frações granulométricas sejam correlacionadas com os atributos químicos em estudo.

O valor de correlação positivo indica que o comportamento das duas variáveis é semelhante, ou seja, ocorre aumento do P-rem em altitudes mais elevadas.

As variáveis apresentaram dependência espacial, conforme constatado pelos modelos e semivariogramas ajustados (Tabela 2 e Figura 1 e 2).

Na análise do índice de dependência espacial (IDE), os valores foram classificados, segundo Zimback (2001), com moderada dependência para o P-Rem, enquanto que as demais apresentaram forte dependência.

As variáveis apresentaram diferentes alcances, sendo que a estimativa do P-Rem em função da

altitude (semivariograma cruzado) apresentou o maior alcance (78 m). Estimativas feitas para locais não amostrados por métodos de interpolação geoestatístico, utilizando valores de alcances maiores, tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representem melhor a realidade (Corá et al., 2004).

Através dos mapas de distribuição do P-Rem e também da sua estimativa utilizando a altitude como co-variável, podemos observar que esta última exerce grande influencia na distribuição do primeiro, ou seja, fica evidenciada a relação positiva entre a declividade (altitude) e a disponibilidade de P-Rem. Estudos têm demonstrado que o relevo tem sido um parâmetro que define a distribuição dos atributos, sejam de solo ou planta, ao longo da paisagem e tem apresentado altas correlações com a produtividade de culturas (KUZUYAKOVA & RICHTER, 2003; SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004;).

Conclusão

As variáveis em estudo apresentaram dependência espacial, com o maior alcance observado para o semivariograma cruzado entre P-Rem e altitude.

A cokrigagem demonstrou bem a variação do P-Rem em função da altitude, evidenciando a influencia da declividade sobre a distribuição deste atributo.

Referências

- ANGELICO, J. C. Desempenho da cokrigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:931-936, 2006.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:221-226, 1983.
- 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. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.
- KUZUYAKOVA, I; RICHTER, C. Variability of soil parameters in a uniformity trial on a Luvisol evaluated by means of spatial statistics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.166, n.3, p.348-356, 2003.
- PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T. & VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.
- SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S. & OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev., 2008.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.
- 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**, Santa Maria – RS, v.34, n.6, nov-dez, 2004.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York. Academic Press, 1980. 385 p.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.