



INTERPOLADORES GEOESTATÍSTICOS APLICADOS NA ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO

A. R. de Oliveira¹, R. N. Martins^{2*}, J. G. Lopes Júnior¹,
J. A. S. Santos³, W. C. Siqueira¹, S. A. Abrahão¹

¹IFNMG – Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Januária, MG, Brasil

²UFV - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

³UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil.

Article history: Received 22 August 2018; Received in revised form 16 October 2018; Accepted 22 October 2018; Available online 19 December 2018.

RESUMO

A agricultura de precisão (AP) destaca-se no gerenciamento a sítio específico de insumos direcionados a correção da fertilidade do solo, a nutrição de plantas e a redução de impactos ambientais na agricultura convencional. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar por meio da krigagem ordinária e cokrigagem, a variabilidade espacial do pH (H₂O), P, K, Ca e Mg de um Latossolo Vermelho-Amarelo. O estudo foi conduzido numa área de 0,6 ha em Januária, Minas Gerais. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,20 m, utilizando uma malha regular de 72 pontos (6 x 6m). Outra grade amostral com 40 pontos foi criada para aplicação da técnica de cokrigagem com base na correlação entre os atributos. Os dados foram avaliados por estatística descritiva, análise de correlação e análise de variabilidade espacial, com base no ajuste dos semivariogramas, sendo em seguida gerados os mapas. As melhores correlações foram observadas entre os atributos pH e Ca (0,65) e K e Mg (0,39). De modo geral, com exceção do Mg, os níveis de todos os atributos avaliados apresentam-se como bons conforme classificação de solos para o estado de Minas Gerais e oferecem condições adequadas para o desenvolvimento de culturas agrícolas. Por fim, o uso da cokrigagem possibilitou estimar com boa confiabilidade os valores de Ca e Mg quando utilizados os valores de pH e K como co-variáveis.

Palavras-chave: Geoestatística, Variabilidade espacial, Agricultura de precisão

GEOSTATISTICAL INTERPOLATION APPLIED IN THE SPATIALIZATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED-YELLOW LATOSOL

ABSTRACT

Precision agriculture (PA) has excelled in site-specific nutrient management targeted to soil fertility correction, plant nutrition and environmental impact reduction in the conventional agriculture. Thus, this study aimed at determining by ordinary kriging and co-kriging, the spatial variability of pH (H₂O), P, K, Ca, and Mg in a Red-Yellow Latosol. The study was conducted in a 0.6 ha area in Januária, Minas Gerais state, Brazil. Soil samples were taken at the 0.00–0.20 m layer depth, using a regular grid with 72 points (6 x 6 m). In order to apply the co-kriging technique based on the correlation between the attributes, another sampling grid with 40 points was created. The data were evaluated by descriptive statistics; linear correlation and spatial variability analysis based on the adjustment of semivariograms. The best correlations were observed between the pH and Ca (0.65) and K and Mg (0.39) attributes.

* rodrigo.n.martins@ufv.br

In general, with exception to Mg, the levels of all attributes evaluated are good according to the soil classification of Minas Gerais state and offer adequate conditions for agricultural crops development. Finally, the use of co-kriging allowed estimating with good reliability the values of Ca and Mg when values of pH and K were used as covariables.

Keywords: Geostatistics, Spatial variability, Precision Agriculture

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) destaca-se no gerenciamento sítio-específico de insumos direcionados a correção da fertilidade do solo, a nutrição de plantas e a redução de impactos ambientais na agricultura convencional.

Nesse sentido, o aumento na eficiência do manejo agrícola deve contemplar tanto a variabilidade espacial, como a variabilidade temporal existente no campo (SILVA et al., 2015). Assim, é possível otimizar o uso de insumos agrícolas com redução de riscos econômicos e ambientais, obtendo maior rentabilidade e qualidade final dos produtos (CORWIN; LESCH, 2003).

Atributos químicos do solo como o potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) podem afetar individual ou conjuntamente a produtividade das culturas. Entretanto, a alta variabilidade espacial e temporal dos solos dá-se também por outros fatores, tais como: textura do solo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010), topografia (OLIVEIRA et al., 2015) e cobertura do solo (BROWN et al., 2018). Dessa forma o manejo adequado da variabilidade espacial de atributos químicos do solo requer profundo entendimento da variabilidade espaço-temporal das propriedades do solo.

Compreender a variabilidade espacial do solo para qualquer campo agrícola requer grande quantidade de informações. Entretanto, o alto custo e tempo demandado na amostragem do solo têm motivado pesquisadores a desenvolver métodos para criar mapas de solo a partir de dados esparsos (BISHOP; MCBRATNEY, 2001; CARVALHO JUNIOR et al., 2014).

Técnicas geoestatísticas têm sido cada vez mais aplicadas na avaliação da

variabilidade espacial de parâmetros de interesse para as ciências agrárias, permitindo o mapeamento, quantificação e modelagem de fenômenos contínuos através da interpolação de pontos amostrados no espaço (GOOVAERTS, 1999). No entanto, ainda existem desafios para determinar o melhor método de interpolação para esse fim (DE MOURA GUERREIRO et al., 2017; PICCINI et al., 2014; REZA et al., 2010).

Métodos geoestatísticos como a krigagem ordinária permite reduzir o número de variáveis e, também, a construção de mapas de classes, o que facilita a identificação de zonas distintas em uma área de produção (LIMA et al., 2016).

Além disso, vários estudos de variabilidade espacial de atributos do solo têm feito o uso do método da cokrigagem, o qual descreve variações espaciais e temporais de forma simultânea para duas variáveis aleatórias que possuem forte correlação espacial entre si (SILVA et al., 2010). Bottega et al. (2014) utilizaram a condutividade elétrica do solo como covariável para estimar os valores de silte e argila. Silva et al. (2010) utilizaram parâmetros físicos do solo para estimar os teores de K e Mg no solo.

A análise geoestatística permite indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade espacial sobre a produção das culturas, como também para estimar respostas das plantas a determinadas práticas de manejo (MATTIONI et al., 2013).

Diante do exposto, este trabalho objetivou determinar por meio da krigagem ordinária e cokrigagem, a variabilidade espacial do pH, P, K, Ca e Mg de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área experimental sob cultivo da bananeira cv “Prata Anã” com aproximadamente 0,6 ha pertencentes ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Campus Januária, (15 ° 28 '55' 'S e 44 ° 22' 41 " O). A altitude média local é de 474 m. O relevo da área é classificado como suavemente ondulado, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Para o mapeamento dos atributos do solo utilizou-se um receptor GNSS garmin eTrex 30, na qual gerou-se uma malha amostral regular (6,0 x 6,0 m) composta por 72 pontos amostrais. Em cada ponto

amostral foram retiradas cinco amostras simples com raio de um metro, que originaram uma amostra composta. Para retirada do solo utilizou-se um trado tipo holandês, sendo as amostras coletadas na profundidade de 0,00 – 0,20 m. Os parâmetros avaliados foram: pH (H₂O), P, K, Ca e Mg conforme metodologia apresentada pela Embrapa (2011).

Os dados da análise laboratorial dos atributos químicos foram submetidos a análise descritiva dos valores observados. Em seguida, procedeu-se a análise da dependência espacial por meio do ajuste de semivariogramas (Equação 1), pressupondo a estacionariedade da hipótese intrínseca (GONÇALVES et al., 2001).

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

Em que:

$\gamma(h)$: semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h: distância de separação entre pares de pontos;

N(h): número de pares de pontos experimentais separados por uma distância h.

O modelo de semivariograma foi escolhido com base no maior coeficiente de determinação (R²), menor soma de quadrado do resíduo (SQR), sendo também determinados os parâmetros: efeito pepita (C₀), contribuição (C₁), patamar (C₀ + C₁) e alcance (A). A escolha do melhor modelo foi validada pela validação cruzada.

O índice de dependência espacial (IDE) foi determinado conforme Zimback (2001), o qual é definido pela relação C₁ / C₀ + C₁ e classificado utilizando os seguintes intervalos: dependência espacial

fraca (IDE ≤ 25%); moderada (25% < IDE ≤ 75%) e forte (IDE > 75%).

Para estimativa dos valores de pH, P, K, Ca e Mg em locais não amostrados utilizou-se a krigagem ordinária. Diferentemente, para a determinação do Ca e Mg em função do pH e K utilizou-se a cokrigagem.

De início foram obtidas as estimativas para cada um dos atributos do solo utilizando-se os valores observados nos 72 pontos amostrais. Em seguida, novas estimativas foram obtidas para cada atributo utilizando-se o pH e K como covariáveis. Para tal, utilizou-se os valores de Ca e Mg em 40 pontos amostrados juntamente com os valores de pH e K dos 72 pontos iniciais.

As grades amostrais utilizadas na espacialização dos atributos químicos do solo utilizando-se a krigagem ordinária (a) e cokrigagem (b) são demonstrados na Figura 1.

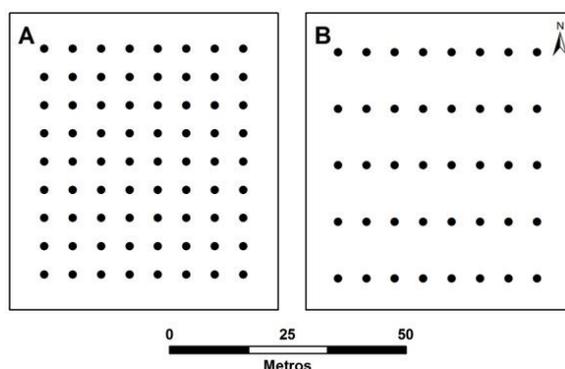


Figura 1. Grades amostrais utilizadas nas estimativas por: (a) krigagem, 72 pontos e (b) cokrigagem, 40 pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela análise descritiva estão dispostos na Tabela 1. Neste caso, observou-se que com exceção do P e K, os valores da média e mediana ficaram bem próximos, o que indica a proximidade entre a distribuição de frequência dos dados e a distribuição normal, confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk (W) a 5% de probabilidade. Apesar da existência de distribuição normal não ser uma exigência para a realização da krigagem ordinária, esta informação importante, pois quando o conjunto de

dados apresenta distribuição normal, o ajuste do modelo matemático ao semivariograma torna-se mais fácil (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Analisando a variabilidade por meio do coeficiente de variação (CV), constata-se que, com exceção do pH, que apresentou baixo CV, os demais atributos apresentaram CV médio segundo a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), de baixo para $CV < 12\%$; médio de $12\% < CV < 60\%$ e alto para $CV > 60\%$.

Tabela 1. Estatística descritiva geral dos atributos pH, P, K, Ca e Mg, Januária, MG, 2018.

Atributos	Média	Med	Min	Max	s	CV (%)	Cs	Ck	W
pH	7,20	7,20	6,32	7,82	0,36	4,94	-0,44	-0,37	Sim
P	70,25	66,40	37,80	141,60	20,44	29,09	1,21	2,03	Não
K	102,45	88,00	8,00	233,00	51,15	49,93	0,97	0,61	Não
Ca	3,09	3,03	1,94	4,15	0,55	17,73	0,08	-0,80	Sim
Mg	0,20	0,19	0,03	0,40	0,09	45,84	0,28	-0,77	Sim

P e K em mg dm^{-3} ; Ca e Mg em cmolc dm^{-3} ; Med: Mediana; Min: mínimo; Max: máximo; s: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; W: distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade.

O resultado da correlação entre os teores de pH, P, K, Ca e Mg é apresentada na Tabela 2. Com exceção do P, todas as outras variáveis apresentaram correlação significativa entre si. Correlações positivas foram observadas entre os atributos pH e Ca (0,65) e K e Mg (0,39) indicando que o aumento dos valores do Ca e Mg está diretamente relacionado com o aumento dos níveis desses atributos na área. Correlação negativa foi observada entre K e pH (-0,48), Mg e pH (-0,36) e Ca e K (-0,40), o que

sugere uma relação inversamente proporcional desses atributos.

Altos valores de correlação entre o pH e Ca também foram reportados em outros estudos por Bottega et al. (2011) e Costa e Lima (2011) que obtiveram valores de 0,91 e 0,83 ($p < 0,05$). A correlação observada entre o K e Mg pode estar associada ao histórico de adubações na área que está sob cultivo de bananeira há 3 anos, sendo isso associado a alta demanda dessa cultura por tais nutrientes.

Tabela 2. Correlação de Pearson (r) dos atributos pH, P, K, Ca e Mg, Januária, MG, 2018.

Atributos	pH	P	K	Ca	Mg
pH	-	-	-	-	-
P	-0,02 ^{ns}	-	-	-	-
K	-0,48**	-0,16 ^{ns}	-	-	-
Ca	0,65**	0,15 ^{ns}	-0,40**	-	-
Mg	-0,36**	0,21 ^{ns}	0,39**	-0,06 ^{ns}	-

^{ns} Não significativo; ** Correlação significativa a 1% de probabilidade.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para os atributos em estudo. Todos os atributos apresentaram dependência espacial, sendo ajustados aos modelos exponencial (pH, K, Mg e K x Mg), esférico (P e Ca) e gaussiano (pH x Ca). O IDE apresentou dependência espacial forte (IDE > 75%), sendo essa alta dependência confirmada pelo baixo valor do efeito pepita. Bottega et al. (2013), Artur et al. (2014), Sana et al. (2014) e Lima et al. (2014), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos, obtiveram resultados com o IDE

variando de moderado a forte para os mesmos atributos.

Além disso, com exceção do P e K, as demais variáveis apresentaram elevado valor de R² e baixo SQR, o que demonstra que o modelo escolhido foi eficiente ao modelar a dependência espacial das variáveis. O ajuste do modelo teórico aos variogramas cruzados, confirma a possibilidade de utilização da variável pH e K como variável auxiliar para estimar os valores de Ca e Mg em pontos desconhecidos, reduzindo os custos de amostragem.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos teóricos ajustados à semivariância e à semivariância cruzada empírica do pH, P, K, Ca e Mg, Januária, MG, 2018.

Atributos	Modelo	Alcance (m)	C ₀	C ₀ +C ₁	IDE	SQR	R ²
Variograma (72 pontos)							
pH	Exponencial	11,07	0,02	0,14	84,29	7,99 ⁻⁵	0,97
P	Esférico	9,60	5,20	307,50	98,31	799,00	0,44
K	Exponencial	4,61	40,00	705,5	94,33	9307,00	0,54
Ca	Esférico	22,52	0,10	0,36	71,91	1,26 ⁻³	0,91
Mg	Exponencial	4,92	0,00	0,01	100,00	4,70 ⁻⁷	0,72
Variograma cruzado (40 pontos)							
Ca x pH	Gaussiano	7,53	0,00	0,03	100,00	1,31 ⁻⁴	0,68
Mg x K	Exponencial	22,29	0,00	2,01	99,95	0,10	0,93

C₀: Efeito pepita; C₀ + C₁: Patamar; IDE: Índice de dependência espacial; SQR: Soma de quadrados do resíduo; R²: Coeficiente de determinação.

A Figura 2 apresenta os mapas da distribuição espacial dos atributos pH, P, K, Ca e Mg obtidos pela krigagem ordinária e

os mapas de Ca e Mg, estimados pela cokrigagem, utilizando o pH e K como co-variáveis.

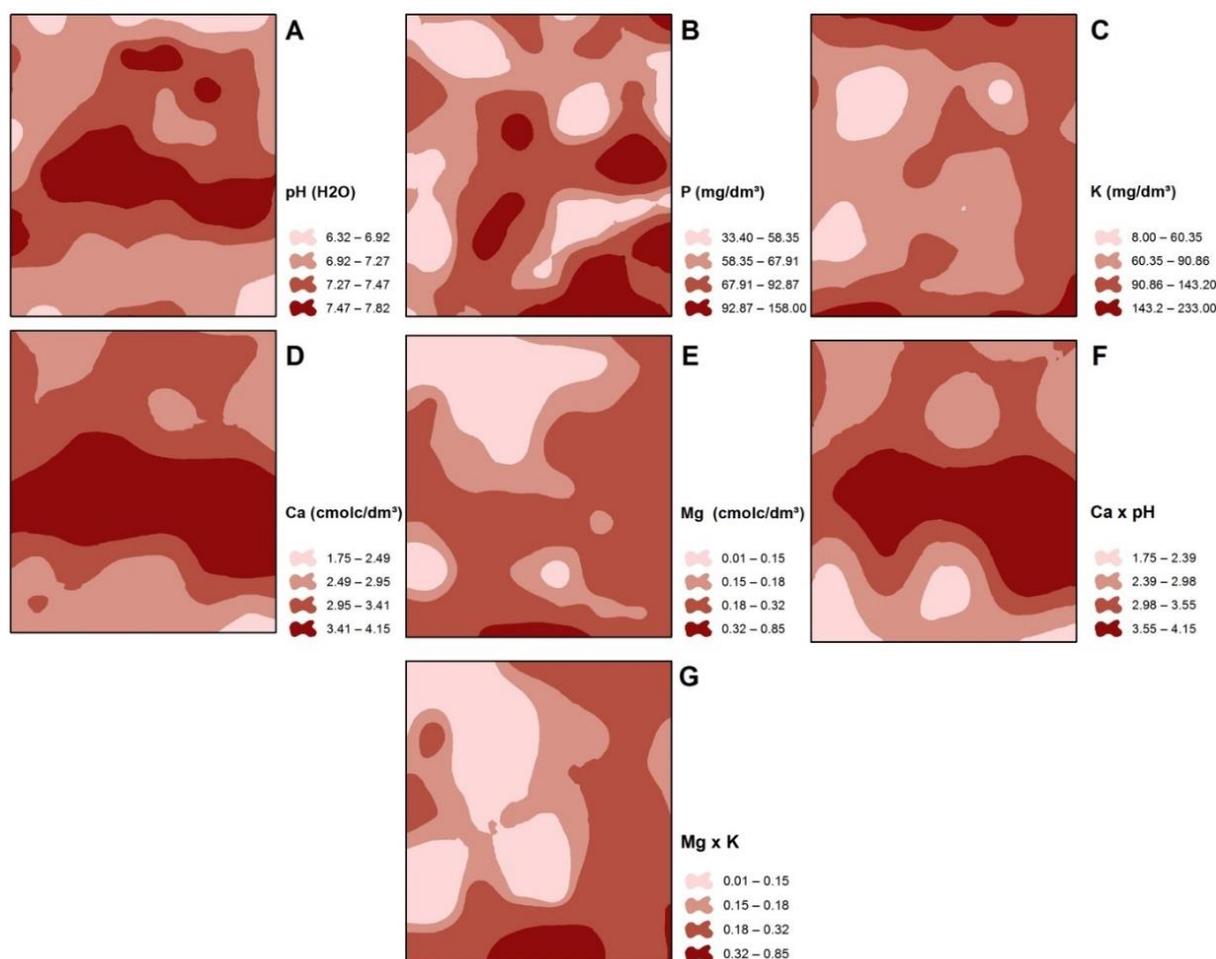


Figura 2. Mapas de distribuição espacial dos valores de pH, P, K, Ca e Mg estimados pela krigagem ordinária (A, B, C, D e E) e cokrigagem (F e G) Januária, MG, 2018.

Segundo a Classificação de Solos do estado de Minas Gerais proposta por Alvarez V et al. (1999), para um solo fértil e que possa dar suporte a absorção dos nutrientes à planta, faz-se necessário ter pH variando entre 5,5 a 6,5. No presente estudo o pH variou de 6,32 a 7,82, sendo predominante na área de estudo o intervalo de 6,92 a 7,27, que se caracteriza como de neutro a alto conforme a classificação agrônômica.

Os teores de K e P variaram de 33,40 a 158,00 mg.dm⁻³ e 8,00 a 233,00 mg.dm⁻³, sendo os níveis desses nutrientes na área classificados em sua maioria como de médio a bom para solos do estado de Minas Gerais. Com relação aos níveis de Ca no solo, observou-se que estes estão na maior parte da área classificados como de médio (1,21 a 2,40 cmol_c dm⁻³) a bom (2,41 a 4,00 cmol_c dm⁻³) (ALVAREZ V et al., 1999).

O Mg está classificado como baixo em sua maioria (0,16 a 0,45 cmol_c dm⁻³). Esse baixo nível de Mg no solo pode estar associado a maior absorção desse nutriente pela cultura da banana na área, assim como, pelo maior nível de bases como o K que poderia estar deslocando o Mg para camadas mais profundas do solo (NOVAIS et al., 2007).

De modo geral, com exceção do Mg, o nível dos demais atributos apresentam-se como bons e oferecem condições adequadas para o desenvolvimento de culturas agrícolas, proporcionando a absorção de outros nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento.

Com relação ao uso da cokrigagem, observou-se que, ao utilizar valores do pH e K como co-variáveis, foi possível estimar com boa confiabilidade os valores de Ca e Mg na área em estudo.

Resultados semelhantes foram observados por Bottega et al. (2011), ao

avaliarem o desempenho da cokrigagem na estimativa da variabilidade de atributos do solo (Ca em função do nível do pH no solo), Oliveira et al. (2018) avaliando a estimativa da densidade do solo em função do teor de areia e Lima et al. (2016) ao estimarem a produtividade do café conilon em função do número de ramos produtivos.

CONCLUSÕES

Todos os atributos (pH, P, K, Ca e Mg) apresentaram variabilidade espacial, sendo o IDE classificado como forte para todos os atributos. As melhores correlações foram observadas entre os atributos pH e Ca (0,65) e K e Mg (0,39).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados de análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)*. Viçosa: UFV, 1999. p. 25-36

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. 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.

BISHOP, T. F. A.; MCBRATNEY, A. B. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property

Assim, essa técnica se mostra como uma boa opção para estimativa de variáveis de difícil amostragem seja pela complexidade, ou pelo elevado custo de análise, desde que se observe correlação significativa entre a co-variável e a variável a ser estimada.

De modo geral, com exceção do Mg, os níveis de todos os apresentam-se como bons conforme classificação de solos para o estado de Minas Gerais e oferecem condições adequadas para o desenvolvimento de culturas agrícolas.

Por fim, a cokrigagem possibilitou estimar com boa confiabilidade os valores de Ca e Mg quando utilizados os valores de pH e K como co-variáveis.

maps. **Geoderma**, v.103, n. 2, p.149-160. 2001.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; DE SOUZA, C.; PINTO, F. A. C. Estimativa de valores granulométricos do solo em locais não amostrados utilizando-se cokrigagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p.244-250, 2014.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p.1-9, 2013.

BOTTEGA, E. L.; SILVA, S. A.; COSTA, M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um

Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 821-828, 2011.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, Á. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

CARVALHO JUNIOR, W. C.; CHAGAS, C. S.; LAGACHERIE, P.; CALDERANO FILHO, B.; BHERING, S. B. Evaluation of statistical and geostatistical models of digital soil properties mapping in tropical mountain regions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.3, p.706-717, 2014.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n.3, p. 471-471, 2003.

COSTA, F. P.; DE SOUZA LIMA, J. S. Cokrigagem na distribuição espacial do cálcio baseado no pH em um latossolo cultivado com café conilon. **Nucleus**, v. 8, n.1, p.1-8, 2011.

DE MOURA GUERREIRO, Q. L.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; SANTOS, G. R.; RUIVO, M. L. P.; BELDINI, T. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, K. E.; GUEDES, M. C.; SANTOS, P. R. B. Spatial variability of soil physical and chemical aspects in a Brazil nut tree stand in the Brazilian Amazon. **African Journal of Agricultural Research**. v.12, n.4, p.237-250, 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**, 2ª ed, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. p.230.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro**

de classificação de solos. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. p. 353.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p.1149-1157, 2001

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v. 89, p.1–45. 1999.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561p.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. 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.; OLIVEIRA, R. B.; FONSECA, A. S. Estimativa da produtividade de café conilon utilizando técnicas de cokrigagem. **Revista Ceres**, v. 63, n.1, p. 54-61, 2016.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um Latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, v.19, n. 1, p.20-32, 2013.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; DE BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 741 p.

OLIVEIRA, D. G.; DOS REIS, E. F.; MEDEIROS, J. C.; DE OLIVEIRA MARTINS, M. P.; DA SILVA UMBELINO, A. Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade de

tomate industrial. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2018.

OLIVEIRA, L. B. T.; SANTOS, A. C.; LIMA, J. S.; NEVES NETO, D. N. Variabilidade espacial das respostas produtivas e morfológicas do capim-Marandu em função dos atributos químicos e topográficos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 4, p. 772-783, 2015.

PICCINI, C.; MARCHETTI, A.; FRANCAVIGLIA, R. Estimation of soil organic matter by geostatistical methods: use of auxiliary information in agricultural and environmental assessment. **Ecological Indicators**, v. 36, p.301–314, 2014.

REZA, S.; SARKAR, D.; BARUAH, U.; DAS, T. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district, Tripura. **Agropedology**, v. 20, p.38–48, 2010.

SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDAO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. 2014. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p.994-1002, 2014.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. Estudo da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico sob cultivo de café arábica por meio de geoestatística. **Revista Ceres**, v. 57, v. 4, p. 560- 567, 2010.

SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; FERREIRA, W. P. M.; CORREA, P. C.; RUFINO, J. L. S. Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 1-11, 2015.

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. cap. 2, p. 319-344.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.