

PLANEJAMENTO AMOSTRAL DE PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO EM LAVOURA DE CAFÉ CONILON

Eduardo Oliveira de Jesus Santos¹, Ivoney Gontijo², Marcelo Barreto da Silva³

(Recebido: 29 de julho de 2012; aceito: 22 de julho de 2013)

RESUMO: Informações a respeito da distribuição espacial dos atributos químicos do solo são de fundamental importância para a cultura do cafeeiro, pois possibilitam a tomada de decisões acertadas, podendo ser fator determinante para a produtividade da cultura. Objetivou-se, no presente trabalho, estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em lavoura de café conilon e propor uma metodologia de amostragem de solo que melhor se ajuste às condições do sistema de manejo. Conduziu-se o experimento em uma lavoura de café conilon no município de São Mateus - ES, plantada no espaçamento 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹). Instalou-se uma malha retangular de 61,6 x 20 m (1.232 m²), com 60 pontos distanciados de 5,6 m entrelinhas e 5,0 m na linha de plantio. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0,0-0,20 m. Utilizando parâmetros estatísticos, estabeleceu-se o número adequado de amostras para análise dos atributos estudados que variaram de 1 a 18 pontos. A maior variação foi observada para Ca (CV 41,7%) e o menor para pH (CV 6,1%). Todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial, com grau de dependência forte e moderada. A maioria dos atributos avaliados foi satisfatoriamente descrita pelo modelo esférico. Para futuras amostragens em condições semelhantes ao presente estudo, sugere-se coletar 18 subamostras, utilizando malha quadrada suficiente para cobrir toda a área de interesse, com intervalo de amostragem, no mínimo, igual ao alcance de dependência espacial dos atributos em estudo.

Termos para indexação: Macronutrientes, amostragem de solo, estatística clássica, geoestatística.

PLANNING SAMPLE OF CHEMICAL SOIL PROPERTIES ON A CONILON COFFEE PLANTATION

ABSTRACT: Information about the spatial distribution of the soil chemical properties are of fundamental importance to the coffee plantation, as they allow making good decisions, being determinant for the crop factor. The aim of the present work was to study the spatial variability of soil chemical properties in a Conilon coffee field and to propose a methodology of soil sampling that best fits the conditions of the management system. The experiment was conducted in a crop Conilon coffee field in São Mateus, state of Espírito Santo, planted in a spacing 1.8 x 1.0 m (5,555 plants ha⁻¹). Installed a rectangular grid of 20 x 61.6 m (1,232 m²), with 60 lines spaced with 5.6 m and 5.0 m in the row points. At each sampling point, soil samples were collected at 0.0-0.20 m deep. Statistical analysis established the adequate number of samples to analyze the studied attributes ranging from 1 to 18 points. The greatest variation was observed for Ca (CV 41.7%) and the lowest for pH (CV 6.1%). All attributes in the study showed spatial dependence structure, with strong and moderate degree. The majority of attributes evaluated were satisfactorily described by spherical model. For future sampling in similar conditions to the present study, it is suggested to collect 18 subsamples using square mesh enough to cover the entire area of interest, with sampling interval at least equal to the range of spatial dependence of the attributes studied.

Index terms: Macronutrients, soil sampling, classical statistics, geostatistics.

1 INTRODUÇÃO

Informações a respeito dos teores dos nutrientes no solo são de fundamental importância para a cultura do cafeeiro, pois é fator primordial para a caracterização da fertilidade do solo e determinante para a produtividade. A avaliação dessas características, mesmo em áreas homogêneas e em curtas distâncias, apresenta variação espacial que pode influenciar a produtividade do café conilon. Baseada nesse princípio, a geoestatística assume grande relevância, possibilitando determinar a variabilidade espacial de propriedades químicas do solo (OLIVEIRA et al., 2009).

O manejo da fertilidade do solo realizado na cultura do café conilon, quanto à aplicação de insumos, é baseado nos teores médios de uma amostra composta, oriunda de subamostras coletadas em ziguezague na área, desconsiderando assim a variabilidade natural do solo (OLIVEIRA et al., 2008). Nesse sentido, no processo de amostragem ao acaso, amostras simples podem ser coletadas muito próximas umas das outras, duplicando a informação dos teores de nutrientes do solo. Informações referentes à continuidade da distribuição espacial entre as amostras, representada pelo alcance, permitirão a construção de conjuntos de dados independentes, possibilitando o uso da estatística clássica sem restrições (GONTIJO et al., 2007).

¹Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas/DCAB - 29.9932 - São Mateus - ES - eduardoliviera@hotmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - CEUNES - DCAB - 29.9932 - São Mateus - ES ivoneygontijo@ceunes.ufes.br

³Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - CEUNES - DCAB - 29.9932 - São Mateus - ES marcelobarreto@ceunes.ufes.br

A amostragem do solo é um dos procedimentos mais importantes, em qualquer programa de pesquisa e de recomendação de adubação do solo, pois de nada adianta realizar análises químicas sofisticadas e rigorosas, se as amostras não caracterizarem a área em estudo onde será realizado o manejo de fertilidade (CHUNG; CHONG; VARSA, 1995). Assim, a análise estatística auxilia na indicação de um número mínimo de pontos suficientes para reduzir a variação dos resultados a um nível aceitável, coerente com a recomendação tradicional de até 20 subamostras por gleba (PREZOTTI et al., 2007; ROZANE et al., 2011). Com isso, tem-se uma amostra representativa da população para que os resultados da análise do solo tenham validade técnica e científica, e que recursos não sejam empregados desnecessariamente e, ou, evitando-se amostragem não representativa (ROZANE et al., 2011).

Quando o grau de autocorrelação espacial, entre as subamostras de determinada propriedade química do solo, não é levada em consideração, como no caso da estatística clássica, frequentemente coleta-se uma quantidade excessiva de amostras para obter a precisão desejada. Assim, o conhecimento da dependência espacial das propriedades do solo é importante para nortear o processo de amostragem, promovendo otimização do processo e uma consequente redução nos custos (GONTIJO et al., 2007).

Objetivou-se, no presente trabalho, estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, em lavoura de café conilon e propor uma metodologia de amostragem de solo que melhor se ajuste às condições do sistema de manejo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento em uma lavoura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre), com idade de 2 anos, em sistema de plantio adensado, com espaçamento de 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹) mantendo-se quatro hastes por planta, localizada no município de São Mateus-ES, nas coordenadas 18° 41' 58" Sul e 40° 03' 00" Oeste, com altitude média de 30 m. Verificou-se, no histórico da área, que a cultura cultivada anteriormente foi a pimenteira do reino. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

Demarcou-se, com o auxílio de uma trena, uma malha retangular de 20 x 61,6 m (1.232 m²)

com 60 pontos distanciados de 5,6 m entrelinhas e 5,0 m na linha de plantio (Figura 1). As fileiras da lavoura estão dispostas no sentido norte-sul. Em cada ponto amostral, foram coletadas quatro subamostras de solo na projeção da copa do cafeeiro, utilizando um amostrador de solo tipo "sonda", compondo uma amostra de, aproximadamente, 500 cm³, na profundidade de 0-20 cm, para obtenção de dados referentes à fertilidade do solo (acidez potencial, CTC potencial, cálcio, magnésio, potássio, saturação por bases e pH em água), de acordo com EMBRAPA (1997).

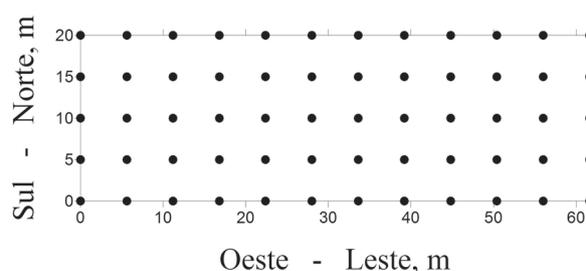


FIGURA 1 - Esquema de amostragem realizada na área experimental, em metros.

Na ocasião da implantação da lavoura em 2008, foi realizada a correção do solo com a aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, em sulcos e na área total. No plantio, para cada metro de sulco, foi aplicado 5 kg de uma mistura curtida nas proporções de 3:2 de palha de café com esterco de galinha, além de 300 g de superfosfato simples. Na formação da lavoura, no primeiro ano após o plantio, 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. As adubações anuais de produção, a partir do segundo ano após o plantio, foram parceladas em seis aplicações do formulado 25-00-25, com início nos meses de agosto-setembro e a cada 40 dias até o mês de abril. A cada pós-colheita (julho-agosto) realiza-se a calagem conforme recomendações técnicas do Manual de Calagem de Adubação do Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007), baseadas em análises de solo.

Os resultados referentes à fertilidade do solo foram submetidos à análise estatística descritiva obtendo-se a média, mediana, variância amostral, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, bem como a verificação da normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico

Action v. 2.3 (ACTION DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

A definição do número de subamostras (n) para obter valores médios representativos das propriedades químicas em estudo, para um nível de confiança desejado, pode ser calculado pela equação 1 (CLINE, 1944), em que a quantidade de pontos amostrais necessários é diretamente proporcional ao seu CV.

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2} \cdot CV}{er} \right)^2 \quad (01)$$

em que: $t_{\alpha/2}$ = valor da tabela de distribuição de Student para o nível de probabilidade $\alpha/2$ (bilateral); CV = coeficiente de variação (%); e_r = erro relativo admitido em torno da média (%).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística, visando definir o modelo de variabilidade espacial das variáveis envolvidas nesse 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):

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2}{2n(h)} \quad (02)$$

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 modelos de semivariograma considerados foram o esférico 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 e menor SQR (soma de quadrados do resíduo), nessa ordem. Faraco et al. (2008), estudando diversos critérios para validação de atributos do solo, concluíram que a validação cruzada foi o método mais adequado para a escolha do melhor ajuste de semivariograma. A validação cruzada, segundo Isaaks e Srivastava (1989), é uma técnica de avaliação de erros de estimativas

que permite comparar os valores previstos com os amostrados. O valor da amostra, em certa localização, é temporariamente descartado do conjunto de dados e, então, é realizada uma previsão por krigagem no local, usando-se as amostras restantes.

Foi calculada a razão de dependência espacial (RD), que é a proporção em percentagem do efeito pepita (C_0), em relação ao patamar ($C_0 + C$), dada pela equação 3:

$$RD = \frac{C_0}{C_0 + C} 100 \quad (03)$$

de acordo com Cambardella et al. (1994), apresenta a seguinte proporção: (a) dependência forte < 25%; (b) dependência moderada de 25 a 75% e (c) dependência fraca > 75%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise estatística para as propriedades químicas em estudos estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que há uma tendência de distribuição simétrica para todos os atributos químicos em estudo, devido à proximidade dos seus valores de média e mediana, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero.

Os resultados referentes ao teste de Shapiro-Wilk, a 5% ($P > 0,05$) reforçam a aceitação da hipótese de normalidade dos dados para os atributos Ca, T e V. Silva et al. (2008), estudando a variabilidade espacial dos atributos químicos na cultura do café arábica encontrou resultado semelhante para a CTC potencial. O conhecimento da distribuição de frequência dos dados de uma variável tem importantes consequências, pois a análise da variância e os testes de significância, normalmente usados na estatística clássica, baseiam-se na distribuição normal dos dados. No entanto, esse fato não deve ser motivo de preocupação quando se aborda análise espacial dos dados (CLARK, 1979).

Observa-se pela análise exploratória dos dados que a variabilidade dos atributos avaliados, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi 20,8%, 17,8%, 41,7%, 31,1%, 32,4%, 20,6% e 6,1%, para H+Al, T, Ca, Mg, K, V e pH em água, respectivamente (Tabela 1). Classificaram-se os valores de CV como baixo para o pH em água e médio para as demais variáveis, segundo os critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980). Classificações semelhantes foram encontradas por

Barbieri, Marques Júnior e Pereira (2008) para a T e K, Guedes et al. (2008) para H+Al, Oliveira et al. (2009) para as variáveis pH, Ca e Mg, e Silva et al. (2010) para V.

De acordo com Zanão Júnior et al. (2007), os CV's médios dos atributos químicos H+Al, T, Ca, Mg, K, %V, podem ser atribuídos ao efeito residual do manejo das adubações anteriores na lavoura de café conilon. De acordo com Davis et al. (1995), o menor CV observado para o pH é devido ser esse uma função logarítmica e, assim, apresenta naturalmente pequena variação.

Observa-se na Figura 2, o número necessário de pontos amostrais ao nível de significância de 5%, para variações em torno da média, medidas pelo erro relativo, de 5 a 30%. A quantidade de pontos de amostragem para obter variação de 10 % em torno da média, com 5% de nível de significância foi de 4, 3, 18, 9, 10, 4 e 1, respectivamente para os atributos químicos H+Al, T, Ca, Mg, K, V e pH (Figura 2). A medida que se reduz a variação em torno da média ocorre o aumento da quantidade de pontos amostrais. Assim, o aumento da exatidão da estimativa está associado ao acréscimo considerável do número de amostras, onerando o processo de amostragem sem incremento proporcional em precisão (GONTIJO et al., 2007).

Considerando que o erro amostral está dentro do tolerável, 10 % ao redor da média no presente estudo, recomendou-se coletar 18 amostras simples de solo na área estudada, valor que está de acordo com a recomendação de Prezotti et al. (2007), que é de 15 a 20 amostras

simples por área. Souza et al. (1997), estudando a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo em um pomar de citrus, com ênfase no planejamento amostral, enfatizam que não se faz uma amostragem em separado para cada atributo químico, o que significa que a precisão final da estimativa realizada após amostragem única irá depender da variável considerada.

Verificou-se estrutura de dependência espacial para todos os atributos químicos do solo em estudo (Tabela 2, Figura 3). O modelo esférico ajustou-se à semivariância estimada de todas as variáveis estudadas, com exceção do T e Mg que foram ajustados ao modelo exponencial. Souza et al. (2008), pesquisando a variabilidade espacial de atributos químicos em pastagem encontrou modelo semelhante para as variáveis V, Ca, K e H+Al.

Observou-se que os valores do coeficiente de determinação (R^2) das propriedades químicas em estudo variaram entre 0,563 e 0,998, ou seja, 56,3% à 99,8% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados. O coeficiente de regressão da validação cruzada (CRCV) variou entre 0,168 e 0,727, para K e Mg, respectivamente. O CRCV indica que a estimativa do teor de Mg no solo, utilizando a técnica da krigagem, apresenta um menor erro e, portanto, é mais confiável. O baixo valor do CRCV para K deve-se, provavelmente, à maior mobilidade desse nutriente no solo, o que proporciona uma maior descontinuidade espacial, dificultando sua estimativa.

TABELA 1 - Estatística descritiva dos dados da acidez potencial, CTC potencial, cálcio, magnésio, potássio, saturação por bases e pH em água obtidos a partir de 60 amostras, em uma lavoura de café conilon.

Estatística descritiva	H+Al	T	Ca	Mg	K	V	pH
	-----cmol _c dm ⁻³ -----				mg dm ⁻³	%	
Média	2,74	4,89	1,32	0,45	110,9	44,1	5,2
Mediana	2,90	4,87	1,30	0,40	100,0	44,0	5,2
VA	0,33	0,76	0,31	0,02	1290,3	82,1	0,1
DP	0,57	0,87	0,55	0,14	35,9	9,1	0,3
CV	20,8	17,8	41,7	31,1	32,4	20,6	6,1
Máximo	4,00	6,84	2,50	0,80	230,0	61,5	5,9
Mínimo	1,70	3,13	0,10	0,20	50,0	23,1	4,7
Ass.	0,003	0,15	- 0,01	0,08	0,75	-0,18	0,00
Curt.	-0,36	-0,50	- 0,54	-0,24	0,73	-0,53	-1,05
p-valor	0,02	0,86*	0,63*	0,01	0,03	0,41*	0,03

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

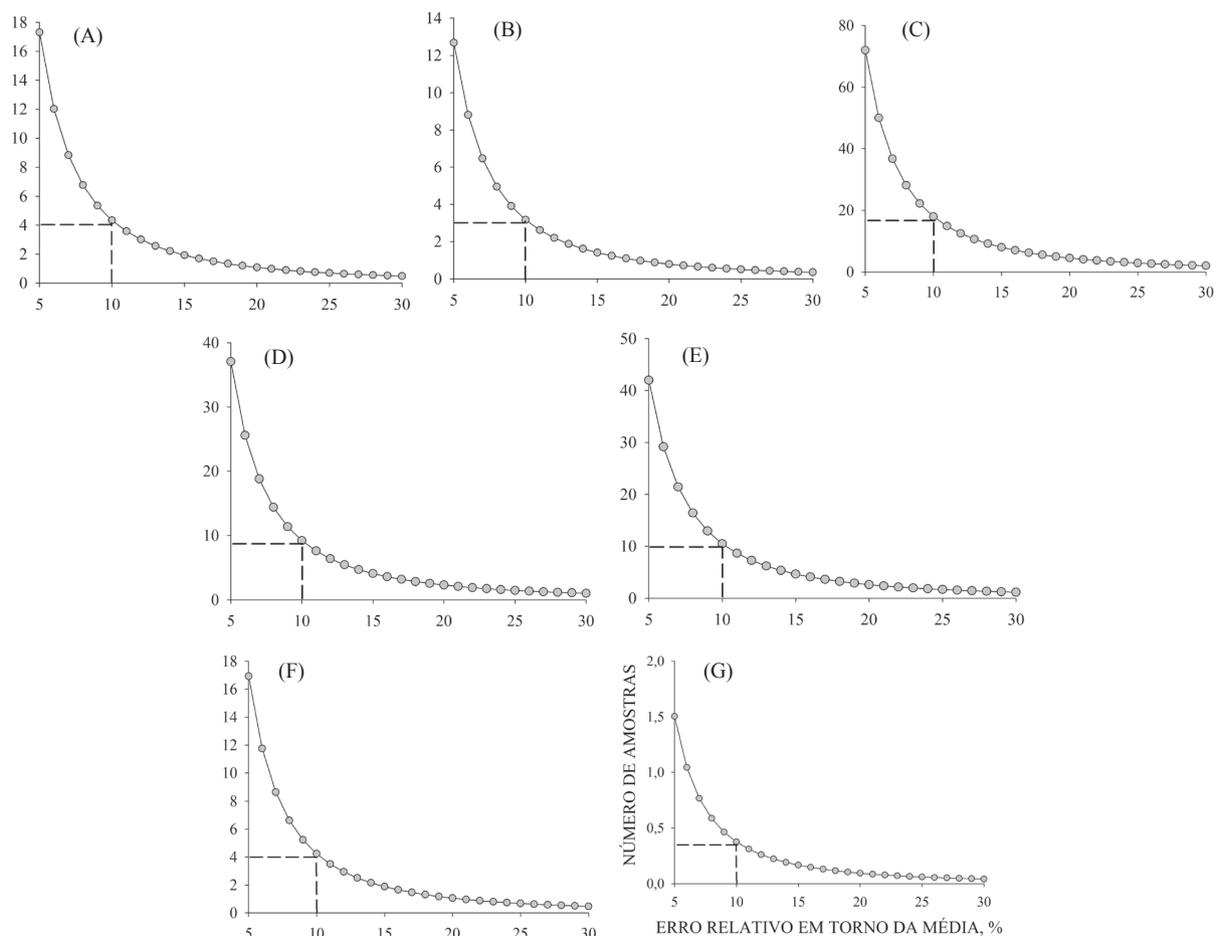


FIGURA 2 - Número de pontos amostrais para estimativa da média da acidez potencial (A), CTC potencial (B), cálcio (C), magnésio (D), potássio (E), saturação por bases (F) e pH em água (G), conforme o erro relativo em torno da média, com 5% de significância.

TABELA 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para acidez potencial, CTC total, cálcio, magnésio, potássio, saturação por bases e pH em água, em uma lavoura de café conilon.

Parâmetro	H+Al	T	Ca	Mg	K	V	pH
	-----cmol _c dm ⁻³ -----				mg dm ⁻³	%	
RD	50,00	12,44	3,99	10,53	42,30	65,62	4,59
SQR	8,2 10 ⁻⁴	3,2 10 ⁻⁵	4,1 10 ⁻⁵	8,5 10 ⁻⁷	15763	4,83	1,11 10 ⁻⁴
CRCV	0,589	0,413	0,260	0,727	0,168	0,599	0,250
R ²	0,947	0,998	0,988	0,931	0,563	0,983	0,862

RD – razão de dependência espacial; SQR – soma de quadrado de resíduo; CRCV – coeficiente de regressão da validação cruzada; R² – coeficiente de determinação.

A análise da razão de dependência espacial dos atributos químicos do solo mostrou que as variáveis Ca, Mg, T e pH apresentaram grau de dependência espacial forte (<25%), concordando com Silva et al. (2007), para as variáveis pH, Ca e Mg e por Souza et al. (2010), para a CTC total e pH. E grau de dependência moderada (25 a 75%) para os demais atributos

em estudo. Classificação semelhante foi encontrada por Gomes et al. (2007), para o K e Machado et al. (2008), para H+Al. Assim, quanto menor a razão do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pelas propriedades químicas, desse modo proporcionando melhor estimativa pela técnica

da krigagem para locais não amostrados. Com isso, verifica-se maior continuidade do fenômeno, menor variância da estimativa e maior confiança no valor estimado (LIMA et al., 2006; LIMA; SOUZA; SILVA, 2010).

O alcance é um parâmetro essencial na análise de semivariograma (Figura 3) e, conseqüentemente, torna-se uma medida importante na definição de procedimento de amostragem, planejamento e na avaliação experimental. Amostras separadas por distâncias menores que o alcance são espacialmente correlacionadas, ao passo que as separadas por distâncias maiores não o são (GONTIJO et al., 2007). Assim, amostras que apresentam distâncias entre si maiores que o valor do alcance têm distribuição aleatória e, são independentes entre si, não havendo restrições quanto ao uso da estatística clássica (CHAVES; FARIAS, 2009; MCBRATNEY; WEBSTER, 1983; REICHERT et al., 2008; VIERA et al., 1983).

Os valores de alcance variaram entre 7,5 e 36,6 metros, para K e T respectivamente. Na prática, o alcance ajustado (a_0) pelo modelo exponencial é três vezes o seu valor definido. O manejo do solo utilizado na área ao longo do tempo como aplicações de fertilizantes e calcário, pode ter contribuído para maior homogeneização, tendo como consequência o aumento do alcance de dependência espacial dos atributos químicos, com exceção do K. Isso se deve, provavelmente, pela alta exigência do café conilon ao K e à sua mobilidade no solo, pode ter contribuído para uma maior heterogeneidade desse atributo, diminuindo o alcance da dependência espacial. Corá et al. (2004) destacam que as propriedades químicas do solo que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneas espacialmente. 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.

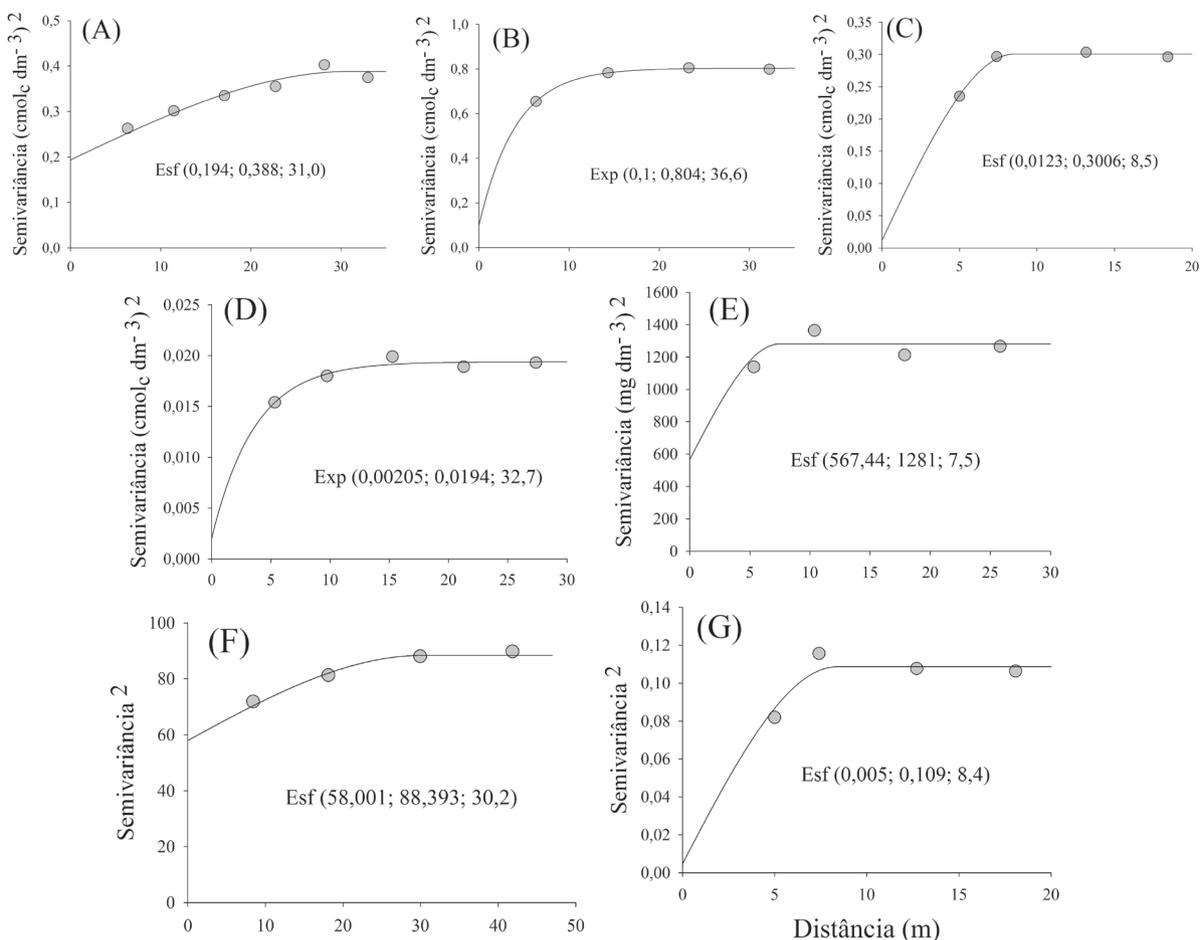


FIGURA 3 - Modelos de semivariogramas ajustados para acidez potencial (A), CTC potencial (B), cálcio (C), magnésio (D), potássio (E), saturação por base (F) e pH em água (G). Valores entre parênteses são efeito pepita (Co), patamar (Co+C) e alcance (a) em metros, respectivamente. Esf - modelo esférico; Exp – modelo exponencial.

Pelos mapas da Figura 4, observa-se tendência geral de condições menos propícias ao desenvolvimento da lavoura, na região central da área estudada que apresenta uma maior acidez do solo, comprovados por maiores valores de H^+Al e menores de pH. Consequentemente, na mesma região, notam-se menores teores de Mg, K e saturação por bases. Essa variação deve-se ao manejo adotado, tais como aplicação de corretivos e fertilizantes de maneira heterogênea ou ainda, uma perda de nutrientes provocada pelo processo erosivo do

solo, conforme observado por Santos, Gontijo e Nicole 2012.

O uso do alcance do semivariograma, no processo de amostragem é importante para a correta distribuição do número de amostras para determinação dos atributos químicos, de acordo com a escala de estudo. Para garantir a independência espacial, os pontos devem ser coletados a uma distância maior que o valor do alcance. Portanto, não se recomenda amostrar mais de um ponto amostral dentro desse intervalo, sob pena de haver duplicidade dos dados, bem como alto ônus para o agricultor.

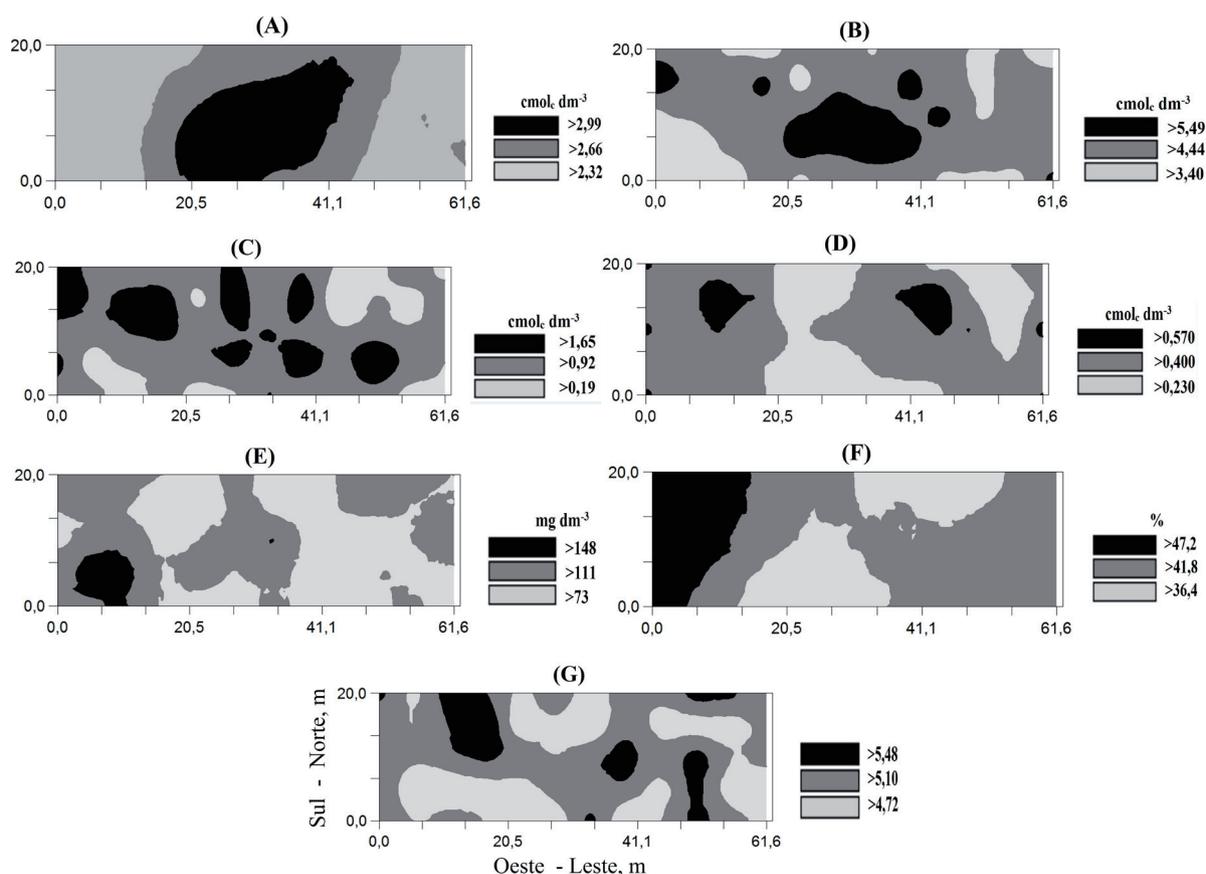


FIGURA 4 - Mapas de isolinhas das variáveis acidez potencial (A), CTC potencial (B), cálcio (C), magnésio (D), potássio (E), saturação por base (F) e pH em água (G).

4 CONCLUSÕES

Todas as variáveis em estudo apresentam distribuição simétrica e estrutura de dependência espacial, com grau de dependência moderada e forte.

Verificou-se menor valor de coeficiente de variação para pH em água (6,1%) e o maior para o teor de cálcio no solo (41,7%).

Recomenda-se, em condições similares à área estudada, coletar 18 subamostras de solo para formar uma amostra composta, associando-se menores custos de amostragem com uma maior representatividade.

5 REFERÊNCIAS

- ACTION DEVELOPMENT CORE TEAM. **ACTION 2.3: ESTATCAMP**. São Carlos, 2012.
- BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.
- 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.
- 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**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.
- CHUNG, C. K.; CHONG, S. K.; VARSA, E. C. Sampling strategies for fertility on a stoy silt lom soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, n. 5/6, p. 741-763, 1995.
- CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science, 1979. 128 p.
- CLINE, M. G. Principles of soil sampling. **Soil Science**, Baltimore, v. 58, p. 275-288, 1944.
- 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**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.
- DAVIS, J. G. et al. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger. **Soil Science**, Baltimore, v. 159, p. 321-330, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- _____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p.
- FARACO, M. A. et al. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 463-476, 2008.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences**. Version 7.0. Michigan, 2004. 1 CD-ROM.
- GOMES, L. O. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 591-599, 2007.
- GONTIJO, I. et al. Planejamento amostral da pressão de preconconsolidação de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1245-1254, 2007.
- GUEDES, L. P. C. et al. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2217-2226, 2008.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.
- LIMA, J. S. S. et al. Estudo viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de Paraju (*Manilkara sp.*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 651-657, jul./ago. 2006.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 127-136, jan./fev. 2010.
- MACHADO, 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**, Viçosa, v. 32, p. 2471-2482, 2008.
- MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Chossing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 83-177, 1983.
- Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 4, p. 423-431 out./dez. 2013**

- 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**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 708-715, 2009.
- OLIVEIRA, R. B. et al. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 176-186, 2008.
- PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- REICHERT, J. M. et al. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, jul./ago. 2008.
- ROZANE, D. E. et al. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. **Semina**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 111-118, 2011.
- SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1062-1068, 2012.
- SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev. 2008.
- _____. 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.
- 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**, Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.
- SOUZA, G. S. et al. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um Argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 73-81, 2010.
- _____. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.
- SOUZA, L. S. et al. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 367-372, 1997.
- VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 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. 319-344.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, jul./ago. 2007.