

Distribuição espacial dos teores de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis em lavoura de café conilon⁽¹⁾

Tamiris Oliveira Rodrigues⁽²⁾; Carlos Eduardo O. Roberto⁽²⁾; Fúlvia Maria dos Santos⁽³⁾; Sara Brinati Valentim⁽²⁾; Renato Ribeiro Passos⁽⁴⁾; Diego Burak Lang⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de Programa Nacional de Pós-Doutorado – CAPES/PNPD

⁽²⁾ Graduandos em Agronomia, Iniciação Científica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), ⁽³⁾ Pesquisadora CAPES do Departamento de Produção Vegetal CCA-UFES, ⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, Alegre, ES. renatoribeirypassos@hotmail.com; dlburak@hotmail.com

RESUMO: O uso dos indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental, tais como teores de Ca e Mg, contextualizando o relevo é de grande importância em áreas de relevo ondulado utilizadas com café conilon no sul do Estado do Espírito Santo. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial de atributos químicos de solos sob cultura de café conilon e sua relação com o relevo. Foram obtidas amostras compostas em duas profundidades (0 a 10 cm e 10 a 20 cm) e os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram interpolados pela krigagem ordinária. Pelos mapas de distribuição espacial tem-se uma tendência de maiores teores de bases trocáveis (Ca e Mg) ocorrerem em maior altitude e locais em menor declive, em contrapartida a locais de menor altitude e menores declives onde os valores de pH são menores, paralelamente aos maiores teores de alumínio trocável.

Termos de indexação: *Coffea canephora* Pierre, variabilidade espacial, fertilidade do solo.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade econômica importante no Brasil, sendo descritas para o café (*Coffea* - família Rubiaceae), mais de 90 espécies. Destas, apenas duas têm importância no mercado brasileiro: *C. arabica*, conhecido como café arábica; *C. canephora*, com as variedades “robusta” e “conilon” (Souza et al., 2004).

O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do país, sendo que o café conilon detém mais de 65% do seu parque cafeeiro (Silva & Costa, 1995). Contudo, o uso de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental em áreas utilizadas com café conilon é relativamente escasso na região sul do estado do Espírito Santo, apesar da grande importância dessa cultura. Nesta região a maioria das lavouras encontra-se em propriedades de agricultura familiar, com baixa aplicação de insumos agrícolas e práticas

de manejo de menor sustentabilidade agrícola que, adicionalmente, são estabelecidas em regiões de maior declividade (Matiello, 1998).

O melhor crescimento das raízes de cafeeiro depende da neutralização do Al^{3+} e do aumento da concentração de Ca^{2+} no solo. A presença do Al^{3+} em subsuperfície induzem o surgimento raízes mais curtas e grossas, ocasionando prejuízos e desequilíbrios nutricionais na planta devido à queda na absorção de nutrientes do solo. No Espírito Santo, a área predominante na cafeicultura possui solos ácidos com níveis baixos de cálcio, magnésio e fósforo (Matiello, 1998). O desenvolvimento e a produção econômica dos cafezais dependem do fornecimento, pelo solo e/ou pelas adubações, dos nutrientes necessários ao cafeeiro, de forma equilibrada. Em ordem de demanda nutricional, o cafeeiro adulto absorve os nutrientes N, K, Ca, Mg, P, S, Zn, B e Cu (Matiello, 1998).

Diferentes agros e ecossistemas podem apresentar diferentes atributos que melhor refletem a qualidade do solo. Portanto, para avaliá-los e equacioná-los quanto ao grau de importância na sustentabilidade agrícola, devem ser consideradas as múltiplas funções do solo, e suas variações no espaço e no tempo (Larson & Pierce, 1994). Nesse contexto pode-se utilizar estatística espacial para o conhecimento da variabilidade e da estrutura espacial dos atributos do solo. Com a avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de confecção de mapas geoestatísticos, obtém-se uma visão da variação dos atributos no relevo de forma a melhor interpretá-los.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação no espaço de atributos químicos de solos sob cultura de café conilon (*Coffea canephora*) e sua relação com o relevo da região.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica

e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas: 20° 45' 17,31" de Latitude Sul e 41° 17' 8,86" de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 113 metros. O relevo caracteriza-se como uma região com feições do tipo "Mar de Morros", com relevo ondulado a forte ondulado e cobertura vegetal natural de Floresta Estacional Semidecidual Submontanha, em cotas que variam de 100 a 150 m de altitude.

Os valores de declividade ao longo da área variaram de 0,06 a 33,52 graus com média de 6,8 graus. Foram coletadas 109 amostras nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Amostragem do solo

O material do solo foi obtido em agosto de 2012. Para realização das análises químicas, a coleta de amostras foi feita com o auxílio de cavadeira reta, com a qual se retirou amostras para extrações químicas de rotina (Ca, Mg e Al trocáveis). As amostras compostas foram formadas por quatro amostras simples retiradas ao redor da planta central da célula amostral, dentro da projeção da saia da planta de café, nas duas profundidades (0 a 10 cm e 10 a 20 cm).

Análise química

Para avaliação dos atributos químicos, foram realizados no Laboratório de Análises Químicas de Solos, do Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, CCA/UFES, na cidade de Alegre, com padrões de qualidade para aferição dos processos de extração e determinação de elementos.

Após a coleta das amostras e preparo da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), essas foram submetidas a extrações utilizando como meio extrator a solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis, em cmolc dm⁻³, foram obtidos segundo o método proposto pela EMBRAPA (1997). Para obtenção do teor de Al do solo, foi feita a titulação com NaOH, sendo o teor de Al, em cmolc dm⁻³, equivalente ao volume gasto na titulação com NaOH. A determinação dos teores de Ca + Mg nos extratos, foi feito por Absorção Atômica. A acidez potencial foi avaliada por extração com acetato de cálcio a pH 7, sendo estimada por titulação com NaOH.

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com os dados da altitude e das curvas de nível foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir do MDE extraíram-se planos de informação da declividade e do fluxo acumulado do escoamento

superficial (**Figura 1**). O MDE foi produzido a partir de curvas de nível com intervalo de 1 metro. A interpolação das curvas de nível foi feita em uma estrutura de grade triangular, formando um MDE de formato TIN (Triangulated Irregular Network), sendo todo o procedimento realizado no programa ArcGIS 9.0 com a ferramenta 3D Analyst. Posteriormente o MDE foi transformado para o formato raster, com tamanho de células (ou pixels) de 2 metros (**Figura 1a**). A partir do MDE raster foram extraídos os planos de informação da declividade em porcentagem (**Figura 1c**) e do fluxo acumulado do escoamento superficial (**Figura 1b**). Com informações dos atributos primários do relevo gerados avaliou-se o topographic wetness index (WETIND), atributo secundário do relevo calculado a partir da área de contribuição específica de cada pixels e sua declividade conforme desenvolvido por Beven & Kirkby (1979). Segundo esses autores, tal índice consegue descrever de forma satisfatória a tendência de um pixel em acumular água e, conseqüentemente, em indicar regiões com maior umidade do solo.

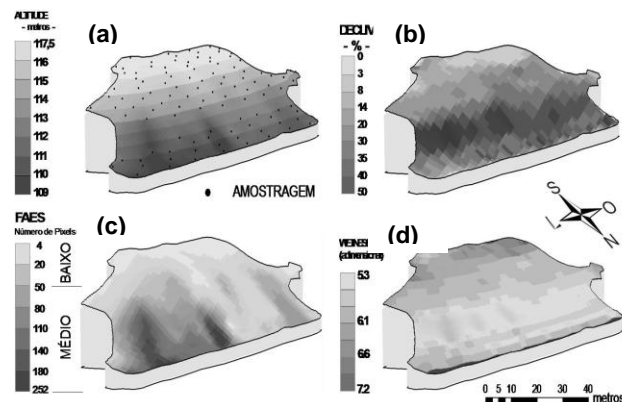


Figura 1 - Modelo Digital de Elevação com altitude (a), declividade (DECLIV) (b), fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (FAES) (c) separado em classes de baixo e médio fluxo, segundo Portes (2008), e topographic wetness index (WETIND) (d).

Análise estatística

Com os valores representativos dos pontos georreferenciados, foram feitas análises estatísticas descritivas. Avalio-se semivariogramas que melhora se ajustaram estrutura espacial do dado para posterior interpolação pela krigagem (dados não apresentados). Pela interpolação das variáveis gerou-se mapas geoestatísticos dos atributos químicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva das extrações de KCl e Mellich-1 são apresentados na **Tabela 1**. A avaliação da variabilidade dos atributos, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada nos limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), para classificação de atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa (CV < 12 %); média (12% < CV < 60 %) e alta (CV > 60 %). Analisando os resultados de coeficientes de variação (CV) é possível observar que o pH foi o único a apresentar baixa variabilidade nas duas profundidades avaliadas.

Tabela 1 - Sumário das estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo do solo.

Variável	Média	Mín	Máx	CV%	Cs	Ck
Profundidade 0-10 cm						
pH	5,58	4,19	6,98	10,00	0,24	-0,29
Al*	0,26	0,00	2,25	134,3 1	3,24	13,0 8
Ca*	2,86	0,05	6,64	45,39	0,32	0,31
Mg*	1,17	0,17	2,35	34,10	-0,03	0,58
H + Al*	4,58	0,00	11,14	41,39	0,28	0,16
Profundidade 10-20 cm						
pH	4,83	3,80	6,23	10,94	0,55	-0,13
Al*	0,64	0,00	3,70	81,71	2,04	9,65
Ca*	1,31	0,02	5,35	74,40	1,18	2,16
Mg*	0,64	0,06	1,98	59,35	0,71	0,50
H + Al*	4,96	0,83	8,83	29,68	-0,23	0,54

* cmol_c dm⁻³. Mín- mínimo; Máx- máximo; s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Cs- coeficiente de assimetria; Ck- coeficiente de curtose.

Os atributos Ca, Mg e H+Al apresentaram média variabilidade, com destaque para o Al que apresentou alta variabilidade. A alta variabilidade indica acentuada assimetria afastando-se de uma distribuição normal, como observado por outros autores para dados obtidos da natureza (Carvalho et al., 2003; Cambardella et al., 1994). Nota-se que os coeficientes de assimetria e curtose do pH, Mg e H + Al estão próximos de zero, o que caracteriza uma distribuição mais simétrica, em ambas profundidades estudadas. Apenas o Al nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e o Ca e Mg na profundidade de 10-20 cm apresentaram coeficientes de assimetria e curtose distantes de zero caracterizando uma distribuição mais assimétrica dos dados. Segundo Webster & Oliver (2007), um coeficiente de assimetria dos dados entre os valores de 0 e 0,5 não indica a necessidade de transformação, um coeficiente entre 0,5 e 1,0 a

transformação em raiz quadrada é a mais recomendável e um coeficiente maior que 1,0, se faz necessário a transformação logarítmica dos dados.

Valores negativos de assimetria, como observados para o Mg na profundidade de 0-10 cm e H+Al na profundidade de 10-20 cm indicam distribuição com caudas mais alongadas a esquerda, enquanto os valores positivos de assimetria encontrados para os demais atributos indicam uma distribuição com cauda mais alongada a esquerda (**Tabela 1**).

A variabilidade é decorrente a diferentes processos como manejo, erosão e natureza da variável estudada e com a geoestatística pode-se avaliar se tal variabilidade apresenta uma estrutura espacializada ou não.

Quanto ao coeficiente de curtose, que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, em que: se Ck = 0 a distribuição é mesocúrtica, se Ck < 0 platicúrtica e se Ck > 0 leptocúrtica. Verifica-se que a maior parte dos dados apresentou distribuição leptocúrtica, porém, para o atributo pH em ambas as profundidades a distribuição foi platicúrtica.

Pode-se observar uma forte correlação significativa e negativa entre pH e teores de alumínio, indicando que em menores valores de pH o alumínio apresenta altos teores conforme amplamente encontrado na literatura. Em contrapartida, altos teores de pH apresentam correlações positivas com o Ca e Mg na profundidade de 0-10 cm e somente com o Mg na profundidade de 10-20 cm resultado das reações de neutralização da acidez do solo em função da aplicação de corretivos (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Correlação de Pearson⁽¹⁾ entre pH e cátions básicos e alumínio do solo

	Ca	Mg	Al
0-10 cm			
pH	0,65	0,58	-0,44
10-20 cm			
pH	-0,06	0,65	-0,68

⁽¹⁾Valores em negritos são significativos a 5% de probabilidade e valores em negrito e itálico são significativos a 1% de probabilidade

Conforme a distribuição espacial, observa-se pela **Figura 2** que os padrões de distribuição espacial dos atributos químicos avaliados foram diferentes entre atributos e entre profundidades. Pode se observar que houve uma tendência geral de maiores valores de pH ocorrerem em maiores altitudes (**Figura 1**), onde são encontrados menores teores de Al e maiores teores de Ca e Mg. Nas menores altitudes ocorreram os maiores teores de

Al concomitantemente aos menores teores de Ca e Mg.

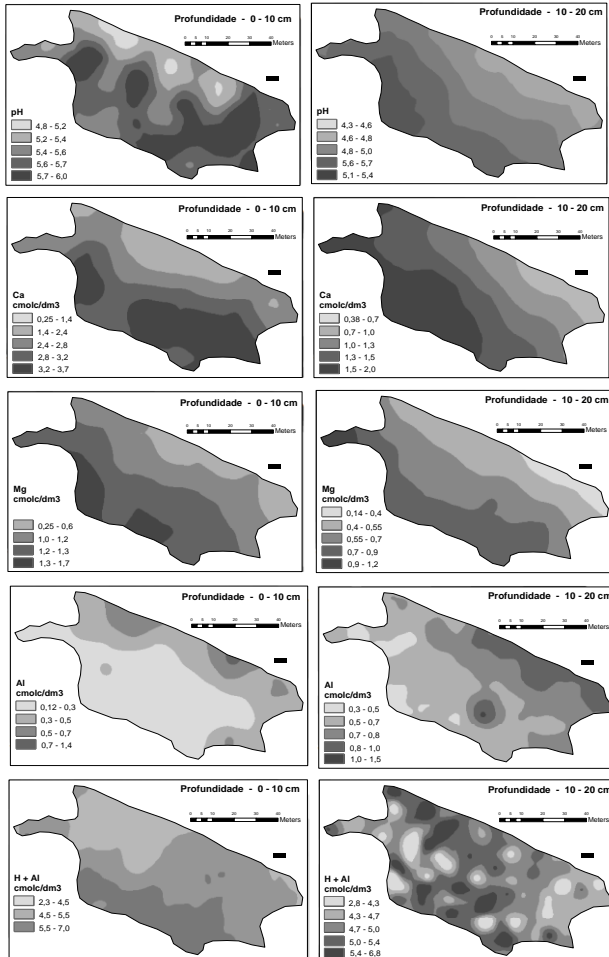


Figura 2 - Distribuição espacial dos atributos químicos estudados na profundidade de 0-10 cm e de 10-20 cm. Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária e do inverso do quadrado da distância.

CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo apresentam comportamento diferenciado em relação à variabilidade espacial. A análise geoestatística, em conjunto com a krigagem ordinária, possibilita o mapeamento da variabilidade e dependência espacial dos atributos do solo nas duas profundidades, proporcionando melhor visualização do comportamento dos atributos em estudo.

Conforme mapas da distribuição espacial tem-se uma tendência de maiores teores de bases trocáveis (Ca e Mg) ocorrerem em maior altitude e locais em menor declive, em contrapartida a locais de menor altitude e menores declives onde os valores de pH são menores, paralelamente aos maiores teores de alumínio trocável.

REFERÊNCIAS

BEVEN, K. J. AND KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bull.*, 24, 43–69, 1979.

CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soils properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* v.58, 1501-1511, 1994.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.695-703, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

MATIELLO, J. B. Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162p.

SILVA, A. E. S.; COSTA, E. B. Importância econômica e social. In: Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 9-10.

SOUZA, F. F.; SANTOS, J. C. F.; COSTA, J. N. M., SANTOS, M. M. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia - Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p.

LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W., Coleman, D.C. Bezdicsek, D. F., Stewart, B. A. (Eds), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. *Soil. Sci. Soc. Am. Spec. Pub.*,v.35, p.37-52, 1994.

WEBSTER, R., OLIVER M.A. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Second Edition. Wiley, Chichester, 325p. 2007.