

VARIABILIDADE ESPACIAL DE NUTRIENTES EM UM LATOSSOLO CULTIVADO COM CAFÉ NA REGIÃO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Solange Aparecida Alho Sarnaglia⁽¹⁾; Diego Lang Burak⁽²⁾; Renato Ribeiro Passos⁽¹⁾

¹ Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias /Departamento de Produção Vegetal, CP 16, 29500-000 Alegre-ES, solange-soli@hotmail.com, renatoribeiropassos@hotmail.com

² Universidade Federal do Piauí - Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, CEP: 64049-550, Teresina – PI dlburak@hotmail.com

Resumo- No processo de fertilização dos solos para o fornecimento de quantidades adequadas de nutrientes para as plantas é considerada a necessidade média para a aplicação dos nutrientes sob a forma de insumo em grandes áreas de produção. Para que as recomendações de adubação tornem-se devidamente adequadas deve-se considerar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. Desta forma o trabalho propõe o estudo da variabilidade espacial de fósforo, potássio e micronutrientes no solo em uma área com variação na declividade sob lavoura de café conilon no sul do estado do Espírito Santo. Para tanto, foram coletados 109 pontos georreferenciados e os resultados dos teores de fósforo, potássio, cobre e ferro determinados foram avaliados por semivariogramas e interpolados pela krigagem ordinária. Os resultados mostraram que os teores de P, K, Cu e Fe apresentaram variabilidade dentro da área estudada de 0,6 ha, a qual foi influenciada pelo relevo. Os atributos químicos avaliados apresentaram maior dependência espacial na profundidade de 10-20 cm. A partir da distribuição espacial dos teores de P, K, Fe e Cu pode se reconhecer locais com diferentes teores desses nutrientes, necessitando considerá-los na separação de zonas mais homogêneas e manejo da adubação para a cultura do cafeeiro.

Palavras-chave: atributos químicos do solo, geoestatística, geomorfologia.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

Inúmeros trabalhos de campo têm mostrado a importância do estudo das variações dos atributos do solo como aspecto fundamental para implantar uma agricultura de uma forma mais eficiente e rentável, mostrando que, em algumas situações, a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (SOUZA et al., 2006). A partir da constatação da dependência espacial e da possibilidade de produção de mapas geoestatísticos da distribuição espacial de atributos do solo, pode-se reconhecer zonas homogêneas quanto aos tais atributos, possibilitando um melhor manejo do solo (MARQUES JÚNIOR; LEPSCH, 2000).

O uso de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental em áreas utilizadas com cafeeiro 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). Segundo Staben et al. (1997), a degradação da qualidade do solo pelo cultivo é manifestada por processos erosivos, redução de matéria orgânica, perda de

nutrientes, deterioração das propriedades físicas do solo, redução das populações microbianas e de atividades enzimáticas.

A distribuição espacial dos atributos do solo na paisagem, por sua vez, está associada ao relevo que governa a dinâmica da água em superfície e em sub-superfície condicionando ao surgimento da variabilidade dos atributos químicos, físicos, biológicos e mineralógicos no solo (BLASZCZYNSKI, 1997).

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos teores de fósforo, potássio e micronutrientes (Cu e Fe) no solo e relacioná-la com o relevo em uma área sob lavoura de café conilon no sul do estado do Espírito Santo.

Metodologia

A área de estudo localiza-se 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 tem um total de 0,6 ha e está inserida dentro do domínio morfoclimático de Mares de Morro. O solo representativo da região foi classificado com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura

argilosa. Foram coletados 109 pontos georreferenciados nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm totalizando 218 amostras.

A área encontra-se sob lavoura de café da espécie *Coffea canephora* Pierre, var. Robusta Tropical – ‘Emcaper 8151’, implantada em 1999, sendo o manejo realizado sem maquinário agrícola. Para melhor visualização das formas do relevo na área foram avaliados a declividade, o fluxo acumulado do escoamento superficial e o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 1). A partir desses planos de informações, foram obtidos os valores atribuídos às células que estiveram associados a cada ponto amostral, obtendo-se os valores dos parâmetros geomorfológicos declividade, altitude e fluxo acumulado do escoamento superficial.

Foram determinados os teores de P, K, Fe e Cu extraídos com Mellich-1 de acordo com Embrapa (1997). Os teores desses elementos, em cada ponto amostral georreferenciado, foram analisados pela estatística descritiva. Posteriormente, os teores dos nutrientes foram avaliados quanto à dependência espacial pelo ajuste de semivariogramas com auxílio do programa GS⁺ (ROBERTSON, 1998). A partir dos melhores semivariogramas ajustados, utilizou-se a krigagem ordinária para interpolação dos teores em toda a área estudada.

Resultados

As medidas estatísticas usualmente calculadas são: média, mediana, valor máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose, coeficiente de variação.

Na Tabela 1, é apresentada a estatística descritiva de cada atributo químico do solo avaliado nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, englobando os resultados de média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria.

Estão representados na Tabela 2 os parâmetros observados nos semivariogramas, os quais foram ajustados para os atributos estudados e também os resultados da validação cruzada. As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, a partir do ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de dados para locais não amostrados.

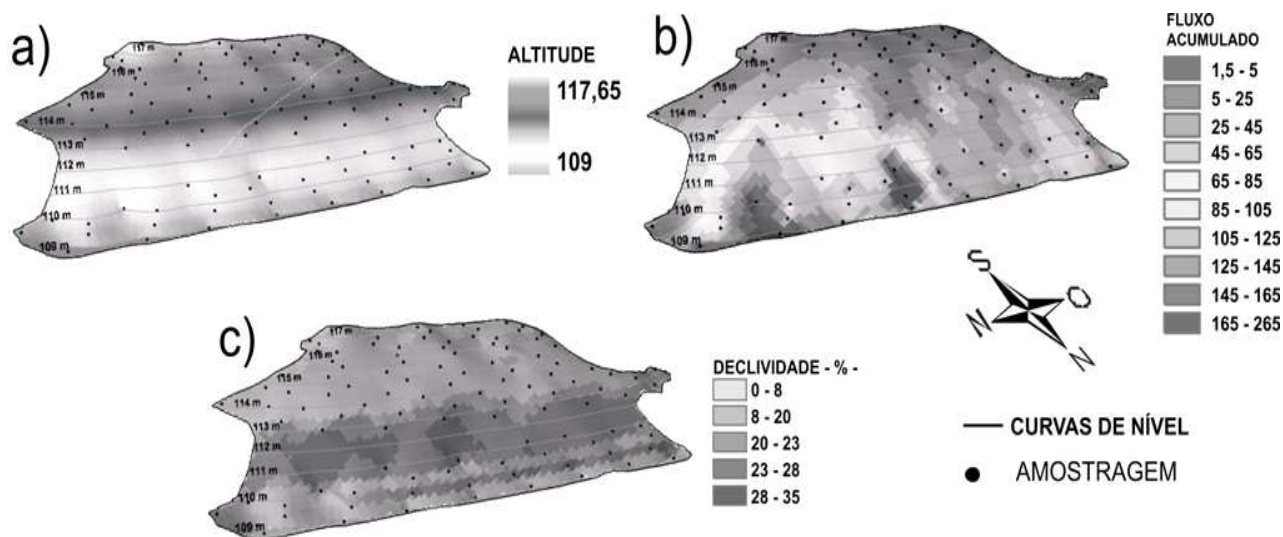


Figura 1. Modelo Digital de Elevação (a), Fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (b) e Declividade (c).

Tabela 1. Análise descritiva (média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria) dos atributos químicos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo

Atributo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV	Assimetria	Curtose
Profundidade de 0 – 10 cm							
P (mg dm ⁻³)	26,48	24,49	5,28	91,75	50,86	1,86	5,53
K (mg dm ⁻³)	196,08	187,00	39,00	854,00	58,66	2,90	13,92
Fe (mg dm ⁻³)	116,24	90,00	40,60	566,00	85,40	3,69	13,57
Cu (mg dm ⁻³)	1,89	1,92	0,57	3,22	29,53	0,06	-0,19
Profundidade de 10 – 20 cm							
P (mg dm ⁻³)	38,12	33,73	6,10	150,46	61,38	1,78	5,46
K (mg dm ⁻³)	233,20	140,00	34,00	987,00	99,77	1,75	1,89
Fe (mg dm ⁻³)	67,89	62,40	12,00	189,00	47,64	1,17	2,47
Cu (mg dm ⁻³)	1,51	1,16	0,21	8,20	89,37	2,92	9,56

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos estudados e resultados da validação cruzada

Variável	Prof. (cm)	Modelo ⁽⁴⁾	Parâmetros ⁽¹⁾				Validação Cruzada ⁽³⁾		
			C ₀	C ₀ + C ₁	C ₀ /(C ₀ + C ₁) ⁽²⁾	a	R ²	Variância	Média
P	0 – 10	EXP	0,019	0,045	42,22	17,8	0,95	-0,006	1,054
	10 - 20	GAUS	0,004	0,066	6,06	5,22	0,89	-0,026	1,018
K	0 – 10	EXP	0,025	0,051	49,02	21,9	0,90	-0,050	1,064
	10 - 20	ESF	0,002	0,113	1,77	6,62	0,62	0,016	0,942
Fe	0 – 10	ESF	0,022	0,049	44,90	45,1	0,84	-0,013	0,981
	10 - 20	EXP	0,027	0,056	48,21	28,2	0,92	-0,002	0,965
Cu	0 – 10	EXP	0,103	0,341	30,21	39,3	0,93	-0,021	1,042
	10 - 20	EXP	0,010	0,086	11,63	10,76	0,77	-0,038	0,995

⁽¹⁾Co = efeito pepita; Co+C₁= patamar; a = alcance; ⁽²⁾ Grau de dependência espacial em porcentagem, sendo classificado em: <25% = forte; entre 25 e 75 % = moderada e > 75% = fraca (Cambardella et al, 1994); ⁽³⁾ Validação cruzada feita com a média do erro reduzido e a variância do erro reduzido (GOOVAERTS, 1997) e valores dos coeficiente determinação dos valores medidos versus os valores preditos pela krigagem ⁽²⁾ EXP=exponencial, ESF=esférico e GAUS=gaussiano

Discussão

A variabilidade é decorrente a diferentes processos como manejo, erosão e natureza da variável estudada. Dentre os atributos químicos do solo analisados, P, K e Cu apresentaram variabilidade média e Fe variabilidade alta na profundidade de 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm, o Fe apresentou variabilidade média, enquanto que P, K e Cu mostraram uma variabilidade alta.

A avaliação da variabilidade dos atributos, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada nos limites propostos por Warrick e Nielsen (1980), para classificação de atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa (CV < 12 %); média (12 % < CV < 60 %) e alta (CV > 60 %).

Os dados da Tabela 1 apresentaram uma acentuada assimetria afastando-se de uma distribuição normal, como também constataram outros autores para dados obtidos da natureza (CARVALHO et al., 2003; SALVIANO et al., 1998;

CAMBARDELLA et al., 1994). Primeiramente, os valores correspondentes à média e à mediana não são próximos, sugerindo uma distribuição assimétrica dos dados. Outro fato é que os coeficientes de assimetria foram diferentes de zero para quase todos os atributos, exceto para o teor de Cu na profundidade de 0 - 10 cm desse solo, o qual apresentou uma tendência à distribuição normal. Os valores das medidas estatísticas de tendência central foram praticamente iguais, assim como os coeficientes de assimetria para esse atributo estiveram mais próximos de zero.

Valores negativos de assimetria, conforme observado indicam distribuição com caudas mais alongadas a esquerda, enquanto os valores positivos de assimetria indicam uma distribuição com cauda mais alongada a esquerda.

Os altos coeficientes de assimetria encontrados para os atributos químicos, com exceção do Cu na profundidade 0-10 cm, indicam uma grande variabilidade e alguns pontos amostrados com teores afastados do valor médio, ou seja, grandes diferenças foram encontradas entre os diferentes pontos georreferenciados.

Quanto ao coeficiente de curtose, que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, em que: se $C_k = 0$ a distribuição é mesocúrtica, se $C_k < 0$ platicúrtica e se $C_k > 0$ leptocúrtica, a maior parte dos dados apresentou distribuição leptocúrtica, porém, para o atributo Cu na profundidade de 0-10 cm a distribuição foi platicúrtica.

Conforme mostra a Tabela 2, todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial, a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas. O modelo esférico ajustou-se aos dados do atributo Fe na primeira profundidade (0-10 cm) e K na profundidade de 10-20 cm. O modelo exponencial foi ajustado ao Cu em ambas as profundidades, assim como o Fe na segunda profundidade e o P e K na primeira profundidade. Já o modelo gaussiano ajustou-se ao P na segunda profundidade do solo. Mcbratney & Webster (1986) estudaram modelos de ajuste do semivariograma para os atributos do solo e relataram que os modelos esféricos e exponenciais são os mais encontrados.

A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo Cambardella et al. (1994) a partir da relação $C_0/(C_0+C_1)$, em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual 25 % do patamar, moderada entre 25 % e 75 %, e fraca quando for maior que 75 %. Avaliando-se o grau de dependência espacial pode-se demonstrar o grau de influência da variabilidade aleatória e da variabilidade espacialmente estruturada, ou seja, quanto menor

a dependência espacial mais importante é a variabilidade aleatória na área estudada.

Em geral, todas as variáveis apresentaram grau de dependência espacial moderada na profundidade de 0-10 cm (Tabela 2). Na profundidade de 10-20 cm todas as variáveis, com exceção do Fe apresentaram um forte grau de dependência espacial. Foi observado um menor grau de dependência espacial para a profundidade de 0-10 cm onde a influência antrópica (adubação, calagem) é maior, podendo gerar maior aleatoriedade em alguns atributos. Esse fato foi observado em escala regional por Cambardella et al (1994).

Os atributos químicos apresentaram diferentes alcances, e como tendência geral, maiores valores de alcance para os atributos na profundidade de 0-10 cm (Tabela 2). Isso está de acordo com um importante conceito em gênese do solo, que o maior tempo relativo de exposição dos horizontes superficiais condiciona sua maior taxa de intemperismo (BUOL et al., 1997). Esse fato pode ter contribuído para aumentar o alcance da dependência espacial, caracterizando maior continuidade na distribuição das variáveis na camada mais superficial da área estudada, concordando com estudo de Souza (2001) e Araújo (2002),

As variáveis Cu e Fe apresentaram os maiores alcances nas duas profundidades, enquanto o K e o P apresentaram os menores alcances (5,95 e 6,02 m). O alcance informa a qual distância a dependência espacial existe, e a partir desta distância as amostras são independentes espacialmente, o que as torna passíveis de serem estudadas pela estatística clássica quando se considera a amostragem de solo.

Conclusão

Os teores de P, K, Cu e Fe apresentaram alta variabilidade dentro da área estudada de 0,6 ha, mesmo se tratando de uma área pequena foi possível observar uma variabilidade importante nesse solo. Essa variabilidade foi influenciada pelo relevo, demonstrando que os dados extraídos dos planos de informação da declividade e altitude foram parâmetros úteis a serem considerados. Os atributos químicos avaliados apresentaram maior dependência espacial na camada de 10-20 cm. A partir da distribuição espacial dos teores de P, K Fe e Cu, pode se reconhecer locais com diferentes teores desses nutrientes, necessitando considerá-los na separação de zonas mais homogêneas e no manejo da adubação para a área com variação na declividade sob lavoura de café conilon no sul do estado do Espírito Santo.

Referências

- ARAUJO, A.A.V. Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo. 2002. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.
- BLASZCZYNSKI, J. S. Landform characterization with geographic information Systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v.63, p.183-191, 1997.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; MCCracken, R.J.; SOUTHARD, R.J. **Soil genesis and classification**. Iowa: Iowa State University Press, 1997. 527 p.
- CAMBARDELLA, C.A.; M, T.B.; N, J.M.; P, T.B.; K, D.L.; T, R.F.; K, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.
- CARVALHO, M. P.; T, E. Y.; F, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 27, n. 4, 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.
- GOOVAERTS, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York. Isaaks.
- MARQUES JÚNIOR, J.; L, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociência**, São Paulo, v.19, n.2, p.90-106, 2000.
- MATIELLO, J. B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.
- MCBRATNEY, A. B.; W, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties an fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, 1986.
- ROBERTSON, G.P. **GS⁺ geostatistics for the environmental sciences: GS⁺ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, p. 152, 1998.
- SALVIANO, A.A.C.; V, S.R. & S, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:115-122, 1998.
- SOUZA, C.K. Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de latossolos em área sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP). 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- SOUZA, Z. M.; MJ, J.; P, G.T.; M. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006.
- STABEN, M. L.; B, D. F.; S, J. L.; F, M. F. Assessment of soil quality in conservation reserve program and wheat-fallow soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.6, p.124-130, 1997.
- WARRICK, A. W.; N, D. R. Spatial variability of soil physical properties in thefield. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980.