

MAPEAMENTO FUZZY DOS ATRIBUTOS FÓSFORO E POTÁSSIO EM ÁREA CULTIVADA COM CAFÉ CONILON

Guilherme Andrighetti¹; Samuel de Assis Silva²; Julião Soares de Souza Lima³

¹Graduando em Agronomia, bolsista de iniciação científica ICB/UDESC, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, icaro.monteiro@hotmail.com

² Prof. Assistente, Dr. em Eng. Agrícola, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, sasilva@uesc.br

³ Prof. Associado, Dr. em Ciência Florestal, Departamento de Eng. Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, limajss@yahoo.com.br

RESUMO: O objetivo deste estudo foi mapear, utilizando geoestatística e lógica fuzzy, os atributos do solo fósforo e potássio em uma área de produção de café conilon. O estudo foi realizado na fazenda experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa e Assistência Técnica - INCAPER-ES. A cultivar da espécie *Coffea canephora* Pierre que ocupa a área é a Emcaper 8151, propagada por semente. Na ocasião construiu-se uma malha irregular totalizando 109 pontos amostrais georreferenciados. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 - 0,20 m sendo analisados os atributos fósforo e potássio. Os dados foram submetidos a uma análise estatística descritiva e exploratória. Em seguida os mesmos foram submetidos à análise geoestatística para definir e quantificar o grau de dependência espacial. Utilizou-se um sistema de classificação fuzzy utilizando os atributos descritos para inferir sobre a fertilidade do solo, utilizando como limites os valores apresentados no manual de recomendação de adubação para café do Estado do Espírito Santo. A lógica fuzzy permitiu visualizar as mudanças gradativas das classes de fertilidade do solo com base nos atributos fósforo e potássio, evidenciando zonas de transição gradual ao invés de se classificar as informações em classes definidas de forma exata. A área apresenta baixa possibilidade de produção da cultura do café uma vez que os valores de pertinência da fertilidade do solo com base na associação dos dois nutrientes encontram-se baixos, sendo o fósforo o nutriente limitante ao desenvolvimento e produtividade da cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica fuzzy; geoestatística; fertilidade do solo.

FUZZY MAPPING FOR THE PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE CONILON COFFEE PLANTATION

ABSTRACT: The aim of this study was to map, using geostatistics and fuzzy logic, soil attributes phosphorus and potassium in an area of coffee production conilon. The study was conducted at the experimental farm of the Instituto Capixaba de Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER-ES. The cultivar of the species *Coffea canephora* Pierre occupying the area is Emcaper 8151, propagated by seed. On occasion we constructed a workout irregular totaling 109 sampling points georeferenced. Soil samples were collected at a depth from 0 to 0.20 m attributes being analyzed phosphorus and potassium. Data were subjected to descriptive statistical analysis and exploratory. Then they were subjected to geostatistical analysis to define and quantify the degree of spatial dependence. We used a fuzzy classification system using the attributes described to infer about the fertility of the soil, using as thresholds the values shown in the manual fertilizer recommendation Coffee of Espírito Santo. Fuzzy logic enables to visualize the gradual changes of soil fertility classes based on attributes phosphorus and potassium, showing gradual transition zones rather than sort the information into classes defined accurately. The area has a low possibility of producing coffee culture since the relevance values of soil fertility based on the association of the two nutrients are low and phosphorus the limiting nutrient for the development and yield.

KEY-WORDS: Fuzzy logic; geostatistics; soil fertility.

INTRODUÇÃO

Conhecer a variabilidade espacial de atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é um fator indispensável na implantação da agricultura de precisão. Alterações mínimas nos atributos do solo podem causar grandes diferenciações na produção e conseqüentemente redução de lucro do agronegócio (Lima et al., 2013). Como o Brasil figura entre os maiores produtores de café conilon do mundo, com potencial de aumento na sua produtividade, faz-se necessário estudo da aplicação destas técnicas inovadoras de maneira a contribuir para minimização dos custos e aumento sistemático na produtividade da cultura, de forma a explorar todo o potencial genético das cultivares mais utilizadas no país (Oliveira et al., 2008). Para tanto estas novas tecnologias devem subsidiar a tomada de decisão e, nesta tomada de decisão devemos procurar obter um sistema transportável, capaz de produzir recomendações precisas e exatas em nível de produtor. Meirelles et al. (2007) afirmam que na natureza os fenômenos se comportam de maneira

incerta, sendo necessário, para se trabalhar com tais dados, a utilização de modelos robusta, como a teoria dos conjuntos nebulosos, também conhecida como teoria dos conjuntos fuzzy. A lógica fuzzy tem por objetivo modelar, de modo aproximado, o raciocínio humano, visando manipular informações em um ambiente de incerteza e imprecisão, fornecendo uma resposta aproximada para uma questão baseada em um conhecimento inexato, incompleto ou não totalmente confiável. Um elemento pode pertencer, com certo grau, denominado grau de pertinência a um determinado conjunto fuzzy (Bönisch *et al.* 2004). No caso da fertilidade do solo, em geral, apenas o limite inferior ou o superior de uma classe é um limitador de importância prática o qual inviabiliza os cultivos, sendo as classes intermediárias de limitação secundária, uma vez que nessas classes o desenvolvimento e produção das culturas, apesar de limitado, é suficiente para uma produção economicamente viável, porém com rendimentos reduzidos quando comparados à classes de altas fertilidades (Silva *et al.*, 2010). Levando em conta a natureza dos processos agrícolas e tendo em vista os modelos incertos associados à dinâmica desses processos, o objetivo deste estudo foi analisar, utilizando a geoestatística e o sistema de classificação fuzzy, os níveis de fósforo e potássio de uma área cultivada com café conilon.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse estudo são provenientes de coletas realizadas na safra 2007/2008 em um experimento conduzido na fazenda Bananal, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, região sul do Estado de Espírito Santo, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural- INCAPER. O experimento foi conduzido em uma área de uma topo-sequência, cultivada com a variedade Emcaper 8151, da espécie *Coffea canephora* Pierre, propagada por sementes. Na ocasião construiu-se uma malha irregular totalizando 109 pontos amostrais georreferenciados. Para análises foram feitas amostragens de solo na profundidade de 0,0 - 0,20 m. Foram coletadas dez amostras por ponto, as quais foram homogeneizadas formando uma amostra composta representativa do mesmo. A análise química do solo foi realizada conforme Embrapa (1997), para determinação dos níveis de fósforo (P) e potássio (K). Os dados foram submetidos a uma análise descritiva e exploratória. A hipótese de normalidade foi testada pelo método de Shapiro-Wilk's ao nível de 5% de probabilidade. Em seguida realizou-se a análise geoestatística buscando avaliar o atendimento da hipótese de estacionaridade assumida por meio de ajuste de um modelo ao variograma, estimado pela seguinte 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 de valores $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h, e x_i é uma posição espacial da variável Z.

Após interpolação por krigagem ordinária, foram definidos os limites para cada atributo de acordo com cada classe de fertilidade apresentadas pelo Manual de Recomendação de Fertilizantes do Estado do Espírito Santo, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para classificação dos teores de fósforo(P) e potássio (K).

Atributos químicos	Classes de Fertilidade		
	S1	S2	S3
P (mg dm ⁻³)	>20	11-20	≤10
K (mg dm ⁻³)	>60	31-60	≤30

Fonte: Prezotti *et al.* (2007) com adaptação, S1- solo fértil, S2- solo intermediário, S3- solo não fértil

Realizou-se a classificação contínua das representações desses atributos, utilizando o mapeamento fuzzy, integrando a classe S2, aplicando um modelo crescente partindo-se da premissa que o valor de 11 mg.dm⁻³ apresenta maior grau de pertinência ao conjunto representado pela classe S1 enquanto que o valor de 20 mg.dm⁻³ apresenta maior grau de pertinência ao conjunto representado pela classe S3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de tendência central, média e mediana, são bem próximos, indicando distribuição simétrica dos dados, confirmado pelos valores de simetria próximos de zero (Tabela 2). Nestes casos, onde os valores de tendência central são semelhantes e a simetria é próxima de zero, geralmente se observa distribuição normal dos dados, no entanto, segundo o teste de Shapiro-Wilk's a distribuição normal não foi observada. Warrick e Nielsen (1980) afirmam que, em se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado. É importante que na distribuição não se verifique caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (Isaaks e Srivastava, 1989).

Tabela 2. Estatística descritiva e distribuição de frequência para os atributos químicos do solo.

Variáveis	Estatísticas								
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	CV(%)	s	C _s	C _k	p-valor
P	3,81	4,00	1,00	9,00	40,07	1,53	0,58	0,95	*
K	182,70	180,00	44,00	408,00	49,97	91,30	0,45	-0,53	*

CV - coeficiente de variação; s - desvio-padrão; C_s - Coeficiente de assimetria; C_k - coeficiente de curtose; * distribuição não normal pelo teste Shapiro-Wilk's a 5% de probabilidade.

De acordo com a classificação dos níveis de fertilidade para o Espírito Santo proposta por Prezotti et al. (2007), os valores médios de P encontra-se na classe de baixa fertilidade enquanto que os valores médios de K enquadram-se na classe de alta fertilidade (> 60 mg dm⁻³) sendo seu valor médio, aproximadamente, 3 vezes superior ao limite inferior desta classe.

Os variogramas apresentaram patamares bem definidos, assumindo-se, nesse caso, estacionaridade intrínseca uma vez que não se verificou tendência de variação para as variáveis. O modelo que melhor se ajustou aos valores de fósforo foi o esférico, com alcance de dependência espacial de 17 m. Ao potássio ajustou-se o modelo exponencial com alcance de 19 m. Segundo Grego e Vieira (2005) os modelos exponencial e esférico são os que predominam nos trabalhos em ciência do solo.

Tabela 3. Modelos e parâmetros dos variogramas dos atributos químicos do solo em área cultivada com café conilon.

Variáveis	Modelos e Parâmetros					
	Modelo	C ₀	C ₀ +C	A ₀	R ²	IDE
P	Esférico	1,46	3,82	17	85	62
K	Exponencial	580	5589	19	87	90

A espacialização das possibilidades dos atributos químicos fósforo e potássio estão apresentados na Figura 1, onde observa-se que a quase totalidade da área apresenta pertinência próximas a um para o potássio e pertinência próximas a zero para os valores de fósforo.

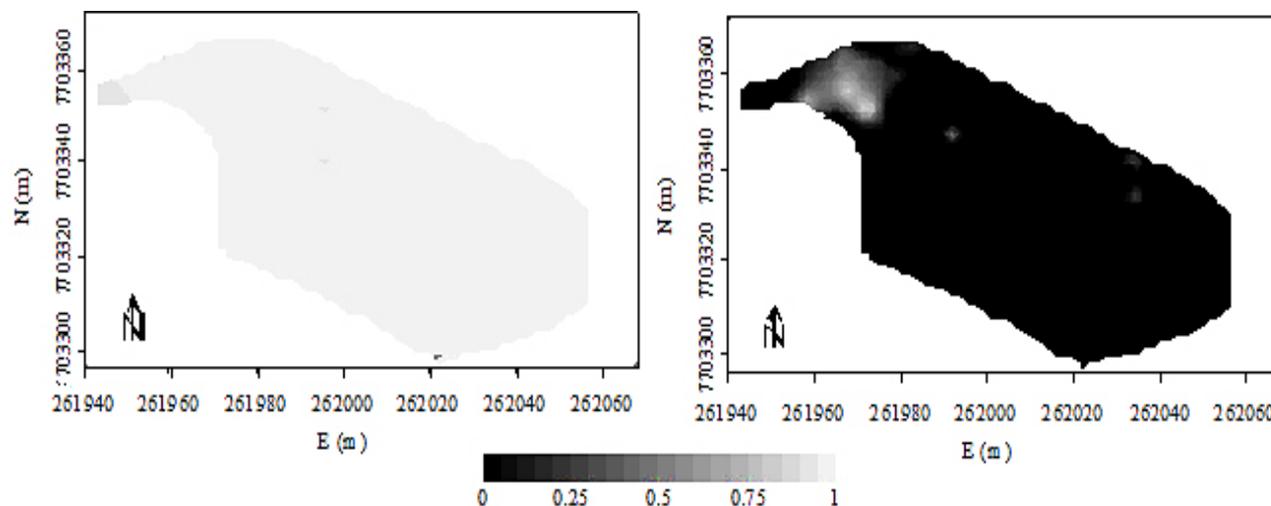


Figura 1. Classes de manejo específico para a cultura do café com base na altitude e nas frações granulométricas.

Os mapas da figura 1 carregam uma informação que não seria apresentada por uma espacialização normal, visto que é possível identificar uma continuidade de distribuição de pertinências, fugindo dos limites rígidos de outros métodos incertos. Chiang e Hsu (2002) afirmam que está é uma das grandes vantagens dessa metodologia, pois a mesma fornece uma alternativa para tratar com as incertezas associadas às fronteiras entre classes, as quais não são claramente definidas.

Observa-se que a área em estudo apresenta baixa disponibilidade de fósforo (Figura 1B) sendo que para este os valores de possibilidade de solo fértil são inferiores a 0,25. Para o potássio (Figura 1A), há um predomínio de valores de pertinência acima de 0,75, ou seja, o solo apresenta disponibilidade elevada de potássio, sem a necessidade de adubação suplementar para esse nutriente.

Em linhas gerais, podemos dizer que a área apresenta baixa possibilidade de produção da cultura do café uma vez que os valores de pertinência da fertilidade do solo com base na associação dos dois nutrientes encontram-se baixos. Neste

caso espera-se uma produtividade também reduzida da cultura do café uma vez que nas condições em estudo não seria possível explorar o rendimento produtivo máximo da mesma, sendo necessário corrigir os níveis de fósforo para que os mesmos atinjam os padrões adequados.

CONCLUSÕES

A lógica fuzzy permitiu visualizar as mudanças gradativas das classes de fertilidade do solo com base nos atributos fósforo e potássio, evidenciando zonas de transição gradual ao invés de se classificar as informações em classes definidas de forma exata.

A área apresenta baixa possibilidade de produção da cultura do café uma vez que os valores de pertinência da fertilidade do solo com base na associação dos dois nutrientes encontram-se baixos, sendo o fósforo o nutriente limitante ao desenvolvimento e produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÖNISCH, S.; LOPES ASSAD, M. L.; CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M. V. Representação e propagação de incertezas em dados de solos, 1- Atributos categóricos, *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa-MG, v.28, p.21-32, 2004.
- CHIANG, J.; HSU, J. Fuzzy classification trees for data analysis, *Fuzzy Sets System*, v, 130, n, 1, p, 87-99, 2002.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York : Oxford University, 1989. 561p.
- LIMA, J.S.S.; SILVA, S.A.; SILVA, J.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.
- MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial, 2007, In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Eds.) *Geomática: Modelos e aplicações ambientais*, Brasília, DF: Embrapa, Informação Tecnológica, 2007, 593p,
- OLIVEIRA, R.B.; LIMA, J.S.; XAVIER, A.C.; PASSOS, R.R.; SILVA, S.A.; SILVA, A.F. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.176-186, 2008.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação, Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007, 305p.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B.; XAVIER, A.C. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 1, p. 9-17, 2010.
- 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 Press, 1980. p.319-44.