

GERAÇÃO E CORRELAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO USANDO SENSOR SPAD E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO PARA A CAFEICULTURA IRRIGADA NA ZONA DA MATA MINEIRA

Eduardo Vicente do Prado¹, Túlio de Almeida Machado², Fabiana M. T. Prado³.

¹ Engenheiro Agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola. Laboratório de Projetos de Máquinas e Visão Artificial. Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n. Campus Universitário. Viçosa-MG. (31) 3899-2729. eduardo.prado@ufv.br

² Engenheiro Agrícola, mestrando em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola – UFV.

³ Especialista em Administração de Empresas, Universidade de Franca - UNIFRAN.

RESUMO: O café é um produto agrícola de extrema importância para a exportação do Brasil, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor nacional e a região da Zona da Mata Mineira de grande contribuição para este montante. As técnicas de agricultura de precisão são eficientes para estimar e mapear a variabilidade espacial e temporal de atributos do solo. Métodos estatísticos de interpolação costumam ser aplicados para obter as características e propriedades do solo de locais não amostrados diminuindo o custo e tempo para um mapeamento adequado da área. Este trabalho teve como objetivo gerar zonas de manejo através de valores de condutividade elétrica aparente (CEA) do solo e do sensor de clorofila SPAD. O estudo foi realizado na fazenda Jatobá, localizado no município de Paula Cândido-MG, com cultura de cafeeiro irrigada por pivô central. Os resultados mostram que tanto para a CEA do solo como os valores de SPAD, houve correlação fraca positiva. O mapeamento de CEA e SPAD em conjunto, é o mais apropriado para servir de base para uma análise de solo diferenciada e posterior adubação e irrigação de acordo com cada classe.

Palavras-Chave: krigagem, fuzzy, geostatística, café, irrigação.

ABSTRACT: Coffee is an agricultural product of extreme importance for the exportation of Brazil, and the state of Minas Gerais is the largest national producer and the region of Zona da Mata Mineira has a great contribution to this amount. The techniques of precision agriculture are efficient to estimate and mapping the spatial and temporal variability of soil attributes. Statistical interpolation methods are applied to obtain the characteristics and properties of the soil in local not sampled and, this way, decreasing the cost and time for a proper mapping of the area. This study aimed to generate management zones through values of apparent electrical conductivity of the soil (CEA) and chlorophyll sensor SPAD. The study was conducted at the farm Jatobá, located in city of Paula Cândido-MG, with coffee crop irrigated by center pivot. The results show that both the CEA and SPAD values had a weak and positive correlation. The mapping of CEA and SPAD together, is the most appropriate to serve as a base for a differentiated soil analysis and subsequent fertilization and irrigation according to each class.

Keywords: kriging, fuzzy, geostatistical, coffee, irrigation.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo. De acordo com a Conab (2014), estima-se que a produção de café (arábica e conilon) para 2014 deverá estar entre 46,53 e 50,15 milhões de sacas beneficiadas.

A agricultura de precisão (AP) pode trazer inúmeros benefícios à cultura do café, pois esta apresenta elevada receita por área cujo preço se baseia na qualidade dos grãos. Técnicas de AP podem auxiliar na identificação de áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade e, até mesmo, no entendimento dos fatores que a

determinam. As áreas de produção podem ser georreferenciadas e tratadas de maneira diferenciada uma vez que a cultura é perene e cultivada tradicionalmente em talhões com áreas relativamente pequenas (QUEIROZ et al., 2004). Nessas pequenas áreas formam as zonas de manejo. Uma zona de manejo é uma sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores limitantes de produtividade e qualidade para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos.

De acordo com Rodrigues Júnior (2008), o nitrogênio do solo influencia no “status” nutricional da planta e no seu desenvolvimento. Como o teor de nitrogênio correlaciona-se com o teor de clorofila, o medidor de clorofila SPAD é usado para avaliar o estado nutricional da cultura de maneira indireta. Outro fator importante do solo é sua condutividade elétrica aparente (CEA). Estudos com o uso da CEA do solo mostram seu potencial para mensuração de características físicas e químicas do solo (CLARK et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi gerar zonas de manejo para a cafeicultura irrigada, com base em medições com sensor de clorofila (SPAD) e CEA do solo e correlacioná-las.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na Fazenda Jatobá, localizada no município de Paula Cândido - MG. A área avaliada possui uma lavoura de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí de 2,10 ha irrigada por pivô central, em solo caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

Para o georreferenciamento da área e dos pontos coletados, utilizou-se um aparelho DGPS modelo Pro-XRS, fabricado pela Trimble. Foi feita a correção diferencial desses pontos com o programa computacional Pathfinder Office da Trimble e a base de dados da RBMC do IBGE, localizada em Belo Horizonte - MG.

A amostragem para a coleta do teor de clorofila (SPAD) foi realizada por um aparelho da marca Minolta, modelo 502. As plantas tinham sido podadas em novembro de 2007 (Figura 1). Foram analisadas 868 plantas. Foram medidos os valores de SPAD em 10 folhas que representavam a homogeneidade da planta como um todo e anotando o valor médio das leituras.



Figura 1. Detalhe da área de estudo mostrando as plantas podadas.

Para o mapeamento da CEA utilizou-se um medidor portátil ERM-02 de fabricação da Landviser a 0,20 m de profundidade. Para a determinação da condutividade elétrica aparente do solo utilizou-se o método da resistividade elétrica. A condutividade elétrica foi obtida introduzindo na superfície do solo quatro eletrodos igualmente espaçados. Nos eletrodos externos foi aplicada uma corrente elétrica e a diferença de potencial foi medida nos eletrodos internos, conforme apresentado na Figura 2. Essa configuração é denominada Matriz de Wenner (Corwin & Hedrickx, 2002; Corwin & Lesh, 2003).

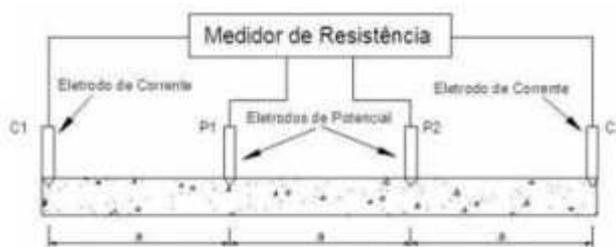


Figura 2. Esquema da Matriz de Wenner.

A resistividade obtida utilizando a Matriz de Wenner foi calculada pela equação (1):

$$\rho = \frac{2\pi a \Delta V}{i} \quad (1)$$

em que:

ρ : resistividade, Ohm.m⁻¹;

a: espaçamento entre eletrodos, m;

V: diferença de potencial medida, V; e

i: corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo é o inverso da resistividade, sendo calculada pela equação (2):

$$CEA = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

em que:

CEA: condutividade elétrica aparente do solo, S.m⁻¹.

As análises geoestatísticas foram feitas no programa computacional “Krig-me” desenvolvido por Valente (2010), com cada atributo (CEA e valores de SPAD), verificando sua possível dependência espacial. A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de semivariogramas. O semivariograma é dado pela equação (3):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que:

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

h: distância de separação entre pares de pontos, m;

N(h): número de pares experimentais de observações Z(x_i) e Z(x_i+h) separados pela distância h.

O método utilizado para a geração das zonas de manejo foi o Fuzzy C-means (FCM). Segundo Odeh et al. (1992), o método de classificação FCM é preferível para o agrupamento de atributos do solo que apresentam continuidade espacial. Entretanto, para a geração das zonas de manejo, não se sabe *a priori* o número mais apropriado de classes a serem definidas, mas pode-se assumir como referência o Índice de Performance Fuzzy (FPI) e a Entropia de Partição Modificada (MPE). O FPI fornece um indicativo da coesão entre as classes geradas e a MPE fornece a quantidade de desordem nas mesmas. O melhor número de classes será aquele que minimiza os dois índices (ODEH et al., 1992).

As correlações entre valores de SPAD e CEA do solo, foram analisadas através da correlação linear de Pearson, ao nível de 5% de probabilidade, usando o programa computacional “Statistica 7”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da correlação linear de Pearson entre CEA e SPAD é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre CEA a 0,20 cm e SPAD.

	CEA	SPAD
CEA	1,00	1,14 ^{ns}
SPAD	0,14 ^{ns}	1,00

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar que houve correlação positiva fraca entre as variáveis CEA e SPAD pela correlação linear de Pearson. Correlações positivas fracas indicam que valores crescentes da variável CEA estão associados a valores crescentes da variável SPAD, contudo, não se pode estimar uma variável em função da outra.

A Tabela 2 mostra os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial das variáveis estudadas.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para as variáveis CEA e SPAD.

Variáveis	Modelo	Alcance (a)	Patamar (C0+C)	Efeito Pepita (C0)	IDE [C/(C0+C)]	R ²
CEA	Linear com patamar	38,51	45,25	11,43	0,747	0,999
SPAD	Gaussiano	104,30	42,20	31,07	0,264	0,996

De acordo com a metodologia proposta por Cambardella et al. (1994), a dependência espacial pode ser analisada através do Índice de Dependência Espacial (IDE). Assim, CEA e SPAD apresentam dependência espacial moderada e fraca, respectivamente.

Nas Figuras 3 e 4 são mostradas as zonas de manejo geradas utilizando o algoritmo FCM com três classes cada de acordo com o FPI e MPE.

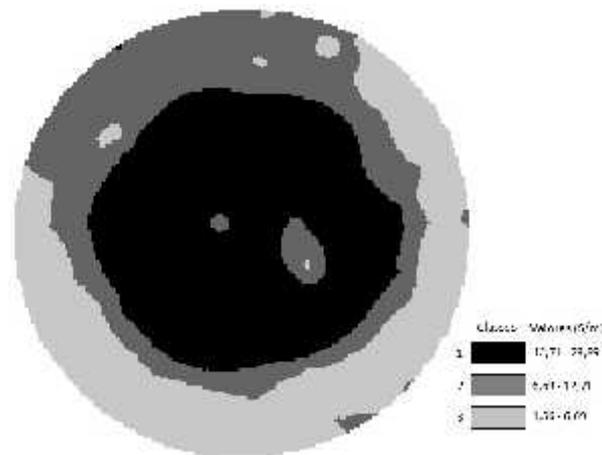


Figura 3. As três zonas de manejo geradas com dados de CEA.

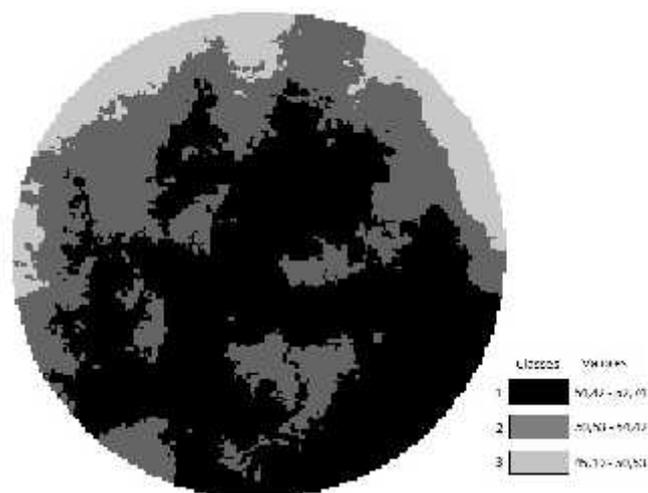


Figura 4. As três zonas de manejo geradas com dados de SPAD.

Na Figura 5 é mostrada as zonas de manejo geradas com os dados de CEA e SPAD em conjunto. O estudo da variabilidade espacial através da modelagem geoestatística definiu três zonas para o planejamento das práticas relacionadas ao manejo.

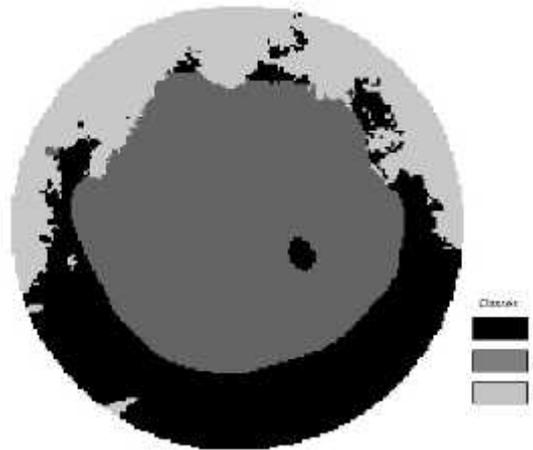


Figura 5. As três zonas de manejo geradas com valores de CEA e SPAD.

É difícil determinar quais informações devem ser usadas na delimitação de zonas de manejo de uma área. Sugere-se então a utilização de atributos isolados ou combinados, que reflitam o comportamento do objeto em que se deseja caracterizar a variabilidade.

4. CONCLUSÃO

É válido salientar que a área em estudo é relativamente pequena (2,10 ha) e também não apresenta muita variabilidade, pois é devidamente adubada e não possui estresse hídrico, devido ao sistema de irrigação.

Os resultados permitiram concluir que:

- a) As zonas de manejo geradas pelos valores do sensor de clorofila SPAD e CEA do solo apresentaram correlação fraca positiva;
- b) A variabilidade espacial dos atributos SPAD e CEA em conjunto, definiu as três zonas de manejo, as quais exigem práticas de manejo de água e solo diferenciados, maximizando a utilização de recursos naturais e minimizando os custos da produção de café com aplicação de adubos e corretivos agrícolas adequados. As zonas de manejo geradas são mais apropriadas para servir de base para uma colheita e beneficiamento dos grãos de cada zona separadamente, o que pode gerar qualidade de bebida também diferenciada.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

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 soil

properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 2, p. 1501-1511. 1994

CLARK, R.L.; CHEN, F.; KISSEL, D.E.; ADKINS, W. Mapping soil hardpans with the penetrometer and electrical conductivity. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: P.C. Robert, 2000. 1 CD-ROM.

CONAB; **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2014 primeira estimativa, janeiro-2014**. Companhia Nacional de Abastecimento. - Brasília: Conab, 2014. 15p.

CORWIN, D. L.; HENDRICKX, J. M. H. Electrical Resistivity: Wenner Array. **In:** SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA : SSSA Book Series, n. 5, p.1282-1287. 2002.

CORWIN, D. L.; S. M. LESCH. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.

ODEH, I. O. A.; McBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Fuzzy-c-means and kriging for mapping soil as a continuous system. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1848-1854, 1992.

QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; ZANDONADI, R. S.; EMERICH, I. N.; SENA JUNIOR, D. G. Uso de técnicas de agricultura de precisão para a cafeicultura de montanha. **In:** ZAMBOLIM, L. Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café. Viçosa: Editora UFV, p.77-108. 2004.

RODRIGUES JUNIOR F. A.; VIEIRA L. B.; QUEIROZ D. M.; SANTOS N. T.. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.8, p.778–787, 2008.

VALENTE, D. S. M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para definir zonas de manejo em cafeicultura de precisão**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 122 p. 2010.