

## CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA EM ÁREAS DE PRODUÇÃO CAFÉS ESPECIAIS NO SUL DE MINAS GERAIS<sup>1</sup>

Gustavo Costa Rodrigues<sup>2</sup>; Célia Regina Grego<sup>3</sup> Ariovaldo Luchiar<sup>4</sup>, Eduardo Antonio Speranza<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Trabalho financiado pelo projeto em Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa

<sup>2</sup> Pesquisador, PhD, Embrapa Informática, Campinas-SP, gustavo.rodrigues@embrapa.br

<sup>3</sup> Pesquisador, PhD, Embrapa Informática, Campinas-SP, celia.grego@embrapa.br

<sup>4</sup> Pesquisador, PhD, Embrapa Informática, Campinas-SP, ariovaldo.luchiar@embrapa.br

<sup>5</sup> Analista, PhD, Embrapa Informática, Campinas-SP, eduardo.speranza@embrapa.br

**RESUMO:** A região sul do estado de Minas Gerais é grande produtora de café, principalmente daquele classificado como especial. Aspectos ambientais, entre outros fatores, interferem consideravelmente na produção desse tipo de café, envolvendo fatores como altitude e face de exposição do plantio ao sol. Este trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial em áreas representativas de produção de café arábica (*Coffea arabica*) classificados como especiais do sul de Minas Gerais quanto aos índices vegetativos e de clorofila para identificar a existência de variabilidade espacial para aplicação da Agricultura de Precisão. Como resultado observou-se variabilidade espacial no NDVI, NDRE e IRC em todos os campos avaliados e trabalhos estão em andamento para estudar as correlações observadas com aspectos de produtividade e qualidade da bebida

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, Geoestatística, variabilidade espacial.

## SPATIAL CHARACTERIZATION OF VEGETATION INDEXES AND RELATIVE CHLOROPHYLL INDEX IN SPECIALTY COFFEE PRODUCING AREAS IN THE SOUTH OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The south of the state of Minas Gerais is one of the most important specialty coffee production regions. Environmental aspects like altitude and sun exposure, among others, affects significantly the production of this kind of coffee. The present work has the objective to evaluate the spatial variability of coffee fields representative in the production of specialty coffee beans, in relation to vegetative and chlorophyll-related indexes aiming the application of precision agriculture activities. As a result we observed variability in NDVI, NDRE and IRC in all fields surveyed, and studies are underway to explore the correlations observed with aspects like grain yield and quality.

**KEY WORDS:** Precision agriculture, Geostatistics, spatial variability

### INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais é responsável por cerca de 65% da produção brasileira de café, estando a maioria das propriedades premiadas localizadas no Sul do estado em altitudes superiores a 1000 metros e segundo Silva e Borges (1998), essa é a região que possui o parque cafeeiro mais antigo do país. Dentre os cafés produzidos, o do tipo especial apresenta valor de venda diferenciado, variando de 30% e 40% a mais do que aquele cultivado de modo convencional, sendo por isso almejado por produtores. Em se tratando de aspectos ambientais, o relevo, tipo de solo, além do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta interferem consideravelmente na qualidade da bebida. Segundo Silveira et al (2016), em maiores altitudes se produz cafés de melhor qualidade sensorial, sendo a altitude o fator que mais interfere na qualidade final da bebida produzida nas Montanhas de Minas. Tecnologias da Agricultura de Precisão são eficientes na caracterização da variabilidade espacial de parâmetros dos agroecossistemas cafeeiros, fornecendo uma base eficiente para a análise integrada das informações e o entendimento das relações entre os sistemas de produção e o ambiente no espaço e no tempo (Silva e Alves, 2013). Técnicas de análise geoestatística são importantes na caracterização da variabilidade espacial de atributos das plantas (Vieira, 2000, Vieira et al. 2008 e Grego et al. 2014), produzindo informações interpoladas e mapas com precisão. Assim, ao identificar a variabilidade espacial do desenvolvimento vegetativo das plantas, é possível identificar as diferenças de potencial produtivo nos talhões de café que na maior parte das propriedades são tratados como uniforme quanto ao manejo. Portanto, o mapeamento dos fatores do ambiente e da planta, com uso das geotecnologias, podem subsidiar o planejamento da atividade cafeeira visando, qualidade, competitividade e sustentabilidade do sistema produtivo. Este trabalho tem como objetivo avaliar espacialmente as áreas representativas de produção de café arábica (*Coffea arabica*) classificados como especiais do sul de Minas Gerais quanto aos índices vegetativos e de clorofila para identificar a existência de variabilidade espacial para aplicação da Agricultura de Precisão.

## MATERIAL E MÉTODOS

No período de pós floração, novembro de 2017, foram coletados dados em duas áreas de fazendas representativas de produção de cafés especiais do sul de Minas Gerais: Morro Alto, em Conceição da Aparecida e Santa Cruz, em Paraguaçu. A localização e grades de amostragem estão representadas na Figura 1. A área de produção da Fazenda Santa Cruz corresponde a parcelas de dois talhões, com variedade Catuaí, totalizando aproximadamente 5 ha, sendo identificadas duas faces distintas de exposição ao sol. A área da Fazenda Morro Alto corresponde a parcelas de 3 talhões, com as variedades Catucaí, Obatã e Catuaí Amarelo, totalizando aproximadamente 1,5 ha da área de produção, onde foram identificadas 3 faces distintas de exposição ao sol. Foram medidos 75 pontos para Morro Alto e de 56 pontos para Santa Cruz para obter os dados relacionados à biomassa e clorofila das plantas

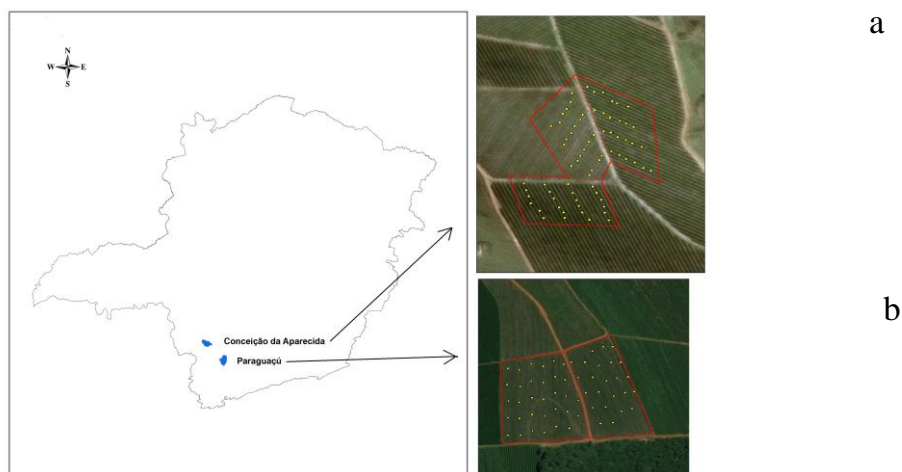


Figura 1. Localização das áreas de café especial em estudo: (a) Fazenda Santa Cruz, em Paraguaçu (MG); (b) Fazenda Morro Alto, em Conceição da Aparecida (MG).

Nos pontos amostrais, as medidas com o sensor Crop Circle foram realizadas no terço médio das plantas (Faz. Santa Cruz) e no terço superior (Faz. Morro Alto). Esse sensor mede seis diferentes bandas espectrais que cobrem as regiões do verde, vermelho, azul, infravermelho próximo e red-edge. Combinações dessas bandas permitiram a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada pelo Vermelho (NDVI) (ROUSE et al., 1973) e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada pelo Red-Edge (NDRE). Os dados de índice relativo de clorofila (IRC) foram coletados com o sensor SPAD-502, sendo as medidas realizadas em 10 folhas completamente expandidas, nos mesmos pontos e posições nos quais foram tomadas as medidas para o Crop Circle. Também foi obtida a altitude das áreas decorrente da medição dos pontos de coordenadas pelo GPS.

Esses atributos (NDVI, NDRE, IRC e altitude) foram selecionados e utilizados para identificação de variabilidade espacial com a ferramenta geoestatística.

Os dados coletados em campo foram inicialmente analisados de maneira exploratória utilizando-se estatística descritiva. A seguir, foi realizada uma análise geoestatística composta pelo semivariograma experimental e ajustado para cada um dos atributos selecionados conforme indicado por Vieira (2000). Os semivariogramas forneceram os parâmetros de ajuste utilizados pelo método de interpolação espacial por krigagem ordinária (Oliver e Webster, 1990), para que fossem gerados os mapas de NDVI, NDRE, IRC e altitude com 1 metro de resolução espacial, desde que a dependência espacial fosse identificada. O semivariograma se trata de um gráfico da semivariância  $\gamma(h)$  versus a distância  $h$  em metros. A semivariância é estimado pela Equação 1:

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

Onde  $N(h)$  é o número de pares dos valores  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$  de distância. Com o ajuste do semivariograma é possível estimar valores para qualquer local onde a variável não foi medida, utilizando o interpolador krigagem ordinária. Os ajustes encontrados para os semivariogramas foram esféricos e gaussianos onde os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ) foram obtidos e calculado o grau da dependência espacial (GD) de acordo com a equação 2.

$$GD (\%) = C1(C1+C0) * 100 \quad (2)$$

A interpretação do GD foi proposta por ZIMBACK (2001) onde: para o semivariograma 0-25% → dependência espacial fraca; 25-75% → dependência espacial moderada; > 75% → forte dependência espacial. Construiu-se mapas de contornos em função das coordenadas geográficas e os programas utilizado para análise geoestatística foram os desenvolvidos por Vieira (2000) e os mapas elaborados no ArcGIS 10.6.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise da estatística descritiva dos parâmetros avaliados apresentada na tabela 1 mostra que o coeficiente de variação, de todos os parâmetros em estudo, são classificados como baixo, nas duas áreas de estudo. E, por não apresentar nenhum valor discrepante, indicam que os dados estão adequados para posterior análise de variabilidade espacial. Além disso os valores da média estão bem próximos em relação ao índices de vegetação (NDRE e NDVI) e ao teor relativo de clorofila (IRC). Observa-se também que a área estudada na Fazenda Morro Alto está local mais alto que os talhões avaliados na outra propriedade.

Tabela 1. Resultado da estatística descritiva para os dados de NDRE, NDVI, IRC e altitude para as áreas das Fazendas Santa Cruz e Morro Alto.

| Name            | N. Pontos | Média   | Variância | DP*  | CV*  | Mínimo  | Máximo  | Assimetria | Curtose |
|-----------------|-----------|---------|-----------|------|------|---------|---------|------------|---------|
| Faz. Santa Cruz |           |         |           |      |      |         |         |            |         |
| NDRE            | 56,00     | 0,42    | 0,001     | 0,03 | 7,41 | 0,37    | 0,53    | 1,22       | 2,50    |
| NDVI            | 56,00     | 0,91    | 0,0004    | 0,02 | 2,08 | 0,85    | 0,96    | -0,22      | 1,55    |
| IRC             | 56,00     | 47,49   | 8,60      | 2,93 | 6,18 | 40,05   | 55,03   | 0,32       | 0,65    |
| Altitude        | 56,00     | 896,70  | 26,15     | 5,11 | 0,57 | 888,70  | 907,20  | 0,13       | -1,13   |
| Faz. Morro Alto |           |         |           |      |      |         |         |            |         |
| NDRE            | 70,00     | 0,41    | 0,0009    | 0,03 | 7,28 | 0,34    | 0,49    | -0,05      | 0,01    |
| NDVI            | 70,00     | 0,91    | 0,0002    | 0,01 | 1,37 | 0,88    | 0,94    | -0,10      | -0,44   |
| IRC             | 70,00     | 49,24   | 12,1500   | 3,49 | 7,08 | 40,10   | 54,60   | -0,61      | -0,29   |
| Altitude        | 70,00     | 1043,00 | 13,1900   | 3,63 | 0,35 | 1037,00 | 1050,00 | 0,28       | -1,00   |

\* DP= Desvio Padrão; CV=Coefficiente de Variação

Para verificar a correlação entre os dados, na tabela 2 são mostrados os valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) entre os dados analisados, onde pode-se destacar que os índices de vegetação NDRE e NDVI são fortemente correlacionados com  $r^2$  de 0,77 na Faz. Santa Cruz e 0,83 na Morro Alto. Em relação ao índice de clorofila IRC com os índices de vegetação também houve correlação positiva, porém com valores menores de  $r^2$ , variando de 0,064 a 0,018 na Faz. Santa Cruz e 0,48 a 0,464 na Morro Alto. Vale destacar também valores de  $r^2$  negativos, ou seja, correlação inversamente proporcional para os dados relacionados a vegetação e clorofila comparados com a altitude na Faz. Santa Cruz. Isso não ocorreu na Faz. Morro Alto, possivelmente por ser uma área mais declivosa, onde o crescimento vegetativo da planta respondeu positivamente de acordo com o aumento da altitude da área.

Tabela 2. Matrix dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para os dados de NDRE, NDVI, IRC e altitude para as áreas das Fazendas Santa Cruz e Morro Alto.

|                 | IRC    | NDRE    | NDVI    | Altitude |
|-----------------|--------|---------|---------|----------|
| Faz. Santa Cruz |        |         |         |          |
| IRC             | 1      |         |         |          |
| NDRE            | 0,0175 | 1       |         |          |
| NDVI            | 0,0637 | 0,7733  | 1       |          |
| Altitude        | 0,0831 | -0,4646 | -0,6463 | 1        |
| Faz. Morro Alto |        |         |         |          |
| IRC             | 1      |         |         |          |
| NDRE            | 0,4636 | 1       |         |          |
| NDVI            | 0,4825 | 0,8268  | 1       |          |
| Altitude        | 0,3151 | 0,1771  | 0,1981  | 1        |

Nas figuras 2 e 3 são mostrados os resultados da análise de variabilidade espacial para os dados coletados. Foi encontrada a existência de dependência espacial, portanto foi possível o ajuste dos semivariograma pelo modelo esférico e gaussiano, com grau de dependência de moderado a forte. A interpolação dos dados foi realizada por Krigagem Ordinária, gerando dados interpolados de 1 m de distância entre eles. Assim, foram encontradas

variabilidades espaciais nos índices de vegetação (NDRE, NDVI), clorofila (IRC) e altitude com alcances de dependência variando de 60 a 120 metros na Faz. Santa Cruz e de 30 a 75 metros na Faz. Morro Alto. Os menos alcances devem estar relacionados as maiores diferenças de declividade das sub áreas na Morro Alto.

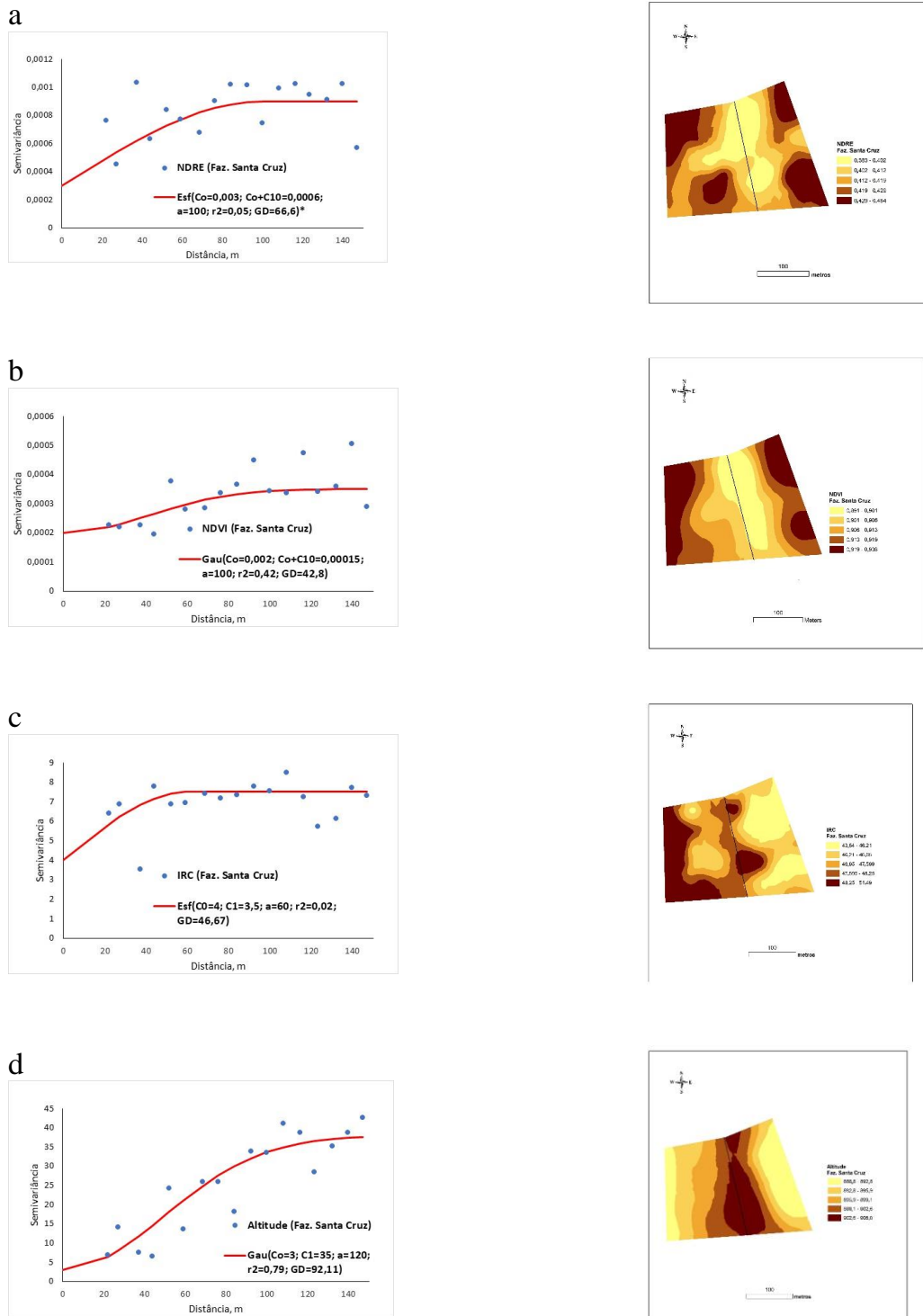
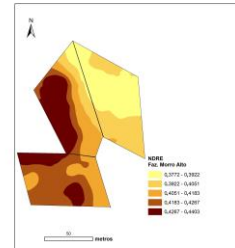
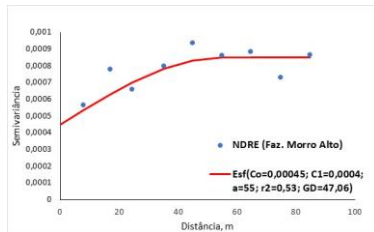


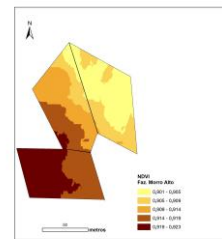
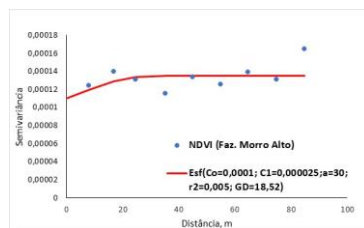
Figura 2. Semivariogramas ajustados e mapas de valores interpolados por krigagem ordinária para os dados de a) NDRE; b) NDVI; c) IRC e d) altitude, para as áreas da Fazenda Santa Cruz.

Na Fazenda Santa Cruz, foi observada, uma relação visual inversa, entre altitude e NDVI, estando de acordo com os coeficientes de determinação negativos encontrados para essas variáveis (Tabela 2), sendo que os maiores valores de NDVI foram encontradas nas áreas mais baixas do campo. Os mapas de NDRE e IRC, mostram manchas de variabilidade com distribuição semelhante. Tais fatos indicam que técnicas de manejo devam ser realizadas em função dessa variabilidade. Na Fazenda Morro Alto, também existe variabilidade espacial para os parâmetros amostrados nas três faces de exposição. Entretanto, a face da direita apresentou maior uniformidade.

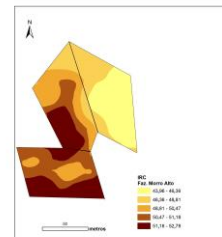
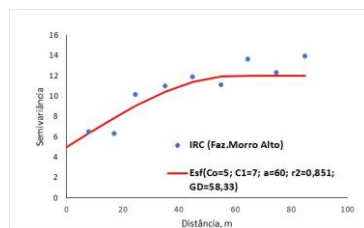
a



b



c



d

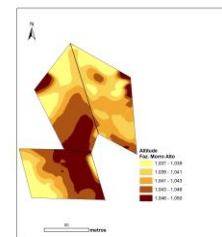
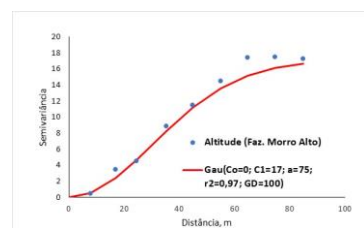


Figura 3. Semivariogramas ajustados e mapas de valores interpolados por krigagem ordinária para os dados de a) NDRE; b) NDVI; c) IRC e d) altitude, para as áreas da Fazenda Morro Alto.

## CONCLUSÕES

- 1 - Com base nos resultados aqui descritos observou-se a ocorrência de variabilidade espacial nos parâmetros avaliados em todas as áreas avaliadas, ou seja dentro dos talhões de café ocorrem manchas diferenciadas em relação ao índice de vegetação e clorofila que devem ser consideradas no manejo da cultura.
- 2 - Essas observações e correlações serão complementadas por outras atividades previstas, visando a coleta de dados de NDVI, NDRE, IRC entre outros, nessas mesmas áreas, mas em diferentes fases fenológicas do cafeeiro.
- 3 - Mapas de produtividade e qualidade de bebida também serão gerados e correlacionados com as variáveis biofísicas e micrometeorológicas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos proprietários e funcionários das Fazendas Santa Cruz e Morro Alto, pela disponibilidade das áreas para realização desta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

SILVA, F. M., BORGES, P.H.M. Mecanização e agricultura de precisão. CONBAP, 27, Poços de Caldas, MG, 1998, 244p

GREGO, C.R., ET AL. Geoestatística aplicada a Agricultura de precisão. In: Bernardi, Alberto Carlos de Campos; Naime, João de Mendonça; Resende, Álvaro Vilela de.; Bassoi, Luis Henrique; Inamasu, Ricardo Yassushi.. (Org.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. 2ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014, v. 1, p. 442-457.

OLIVER, Margaret A.; WEBSTER, Richard. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. International Journal of Geographical Information System, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R.. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M. & LANDELL, M.G.A. (Eds). Cana de açúcar . 1 ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônômico, 2008, p. 839-852.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, 2000. p. 1-54.

SILVEIRA, A. S. et al. Análise sensorial dos cafés especiais da região das Matas de Minas cultivados em diferentes condições ambientais. Rev. Ceres [online]. 2016, vol.63, n.4, pp.436-443. ISSN 0034-737X.

<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201663040002>.

ZIMBACK, C.R.L. Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu, UNESP, 2001. 114p.(Tese - Livre Docência).