

# **Análise geoestatística dos níveis de suficiência de Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e a acidêz/alcalinidade na presença da altitude, que interferem no cultivo de café: Um estudo feito por meio de mapas de Krigagem Indicativa**

**Maria de Fátima Ferreira Almeida**<sup>1 3</sup>

**Gerson Rodrigues dos Santos**<sup>2 3</sup>

**Wagner Rogério Ferreira Pinheiro**<sup>4 5</sup>

**Domingos Sávio Magalhães Valente**<sup>6 7</sup>

**Resumo:** Por meio de estudo geoestatístico é possível identificar potencialidades regionais quanto a altitudes favoráveis ao plantio de café de qualidade. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da altitude nos níveis de suficiência dos nutrientes Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio(K), Cálcio (Ca), Magnésio(Mg) e pH comparados com a Altitude (Al) propícia ao cultivo de café utilizando como metodologia de análise a Krigagem Indicativa.

**Palavras-chave:** *Krigagem Indicativa, altitude, propriedades químicas do solo.*

## **1 Introdução**

Dentre as técnicas de Krigagem destaca-se a Krigagem Ordinária e a Krigagem Indicativa, em que a primeira é um preditor de Krigagem linear pontual que considera a média desconhecida em que os pesos são obtidos levando em consideração a continuidade espacial contida no semivariograma. A segunda é um preditor de Krigagem que utiliza a técnica de Krigagem Ordinária ou de Krigagem Simples dos dados transformados por meio de uma função não linear binária composta por 0 e 1, chamada Krigagem Indicativa ou Krigagem dos Indicadores.

Levando em conta que o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010) e considerando relevante as informações constantes em (Alpizar & Bertrand, 2004; Pereira, 1997) sobre a qualidade do café como função da variedade, do solo, da altitude, manejo de lavoura, processamento na colheita e pós-colheita.

---

<sup>1</sup> IFNMG - Instituto Federal de Educação do Norte de Minas Gerais. Email: fatima.almeida@ifnmg.edu.br

<sup>2</sup> UFV - Universidade Federal de Viçosa. Email: gerson.santos@ufv.br

<sup>3</sup> Agradecimento à FAPEMIG e ao IFNMG pelo apoio financeiro.

<sup>4</sup> UFV - Universidade Federal de Viçosa. Email: wagner2235@gmail.com

<sup>5</sup> Agradecimento à FAPEMIG e a UFV pelo apoio financeiro.

<sup>6</sup> UFV - Universidade Federal de Viçosa. Email: valente@ufv.br

<sup>7</sup> Agradecimento à FAPEMIG e a UFV pelo apoio financeiro.

e a influência que a altitude exerce sobre as características físicas, químicas e sensoriais do café. Por meio de estudo geostatístico é possível identificar potencialidades regionais quanto a altitudes e sua interação com as propriedades químicas do solo que favorecem ao cultivo de café de qualidade .

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da altitude nos níveis de suficiência dos nutrientes matéria Orgânica (MO), fósforo (P), potássio(K), cálcio (Ca), Magnésio(Mg) e pH comparados com a altitude (Al) propícia ao cultivo de café utilizando como metodologia de análise por meio de Krigagem Indicativa e considerando como ponto de corte os níveis de suficiência destes nutrientes determinados por Alves(2012).

## 2. Material e métodos

De acordo com Landim (2003) através do método de Krigagem Ordinária aplicado aos dados transformados por uma transformação binária, é possível elaborar estimativas de proporções para valores que estão abaixo ou acima de um determinado nível de corte de uma distribuição acumulada em local determinado. A expressão da transformação binária é dada por:

$$I_i(z_c) = \begin{cases} 1, & \text{se } z(x) \leq z_k \\ 0, & \text{se } z(x) > z_k \end{cases} \quad (1)$$

A função de distribuição acumulada dos valores abaixo do nível de corte é definida por:

$$\hat{F}(z_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i I_i(z_k) \quad (2)$$

Onde: ,  $z(\mathbf{x})$  é o valor observado e  $z_k$  valor do nível de corte;  $\lambda_i$  são os pesos ,  $I_i$  os indicadores,  $n$  o número de pontos e  $z_k$  o nível de corte. Em que  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  é a condição de não viés.

A tabela 1 apresenta os pontos de cortes através dos níveis de suficiência definidos por Alves (2012).

Tabela 1- Pontos de corte das variáveis e função de transformação binária das mesmas.

CAFÉ			
Variável (Símbolo)	Nível de suficiência	Escala de valores de corte	Função de Transformação binária
Fósforo (P)	Bom	[1,2; 2,7]mg/dm <sup>3</sup>	1, se 1,2 ≤ P ≤ 2,7 0, se P < 1,2 ou P > 2,7.
Potássio (K)	Bom	[65; 84] mg/dm <sup>3</sup>	1, se 65 ≤ K ≤ 84 0, se K < 65 ou K > 84.
Mat. Orgânica (MO)	Bom	[3,6; 5,0] dag/kg	1, se 3,6 ≤ MO ≤ 5.

			0, se $MO < 3,6$ ou $MO > 5$ .
Cálcio (Ca)	Bom	$[2,25; 3,0]$ cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup>	1, se $2,25 \leq Ca \leq 3$ . 0, se $Ca < 2,25$ ou $Ca > 3,0$ .
Magnésio (Mg)	Bom	$[1,0; 1,15]$ cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup>	1, se $1,0 \leq Mg \leq 1,15$ 0, se $Mg < 1,0$ ou $Mg > 1,15$ .
Acidez/Alcal.(pH)	Bom	$[5,2; 5,6]$	1, se $5 \leq pH \leq 5,4$ 0, se $pH < 5$ ou $pH > 5,4$ .
Altitude (Alt.)	Bom	$\geq 900$ m	1, se $Alt. \geq 900m$ 0, se $Alt. < 900m$ .

### 3. Resultados e discussão

Tabela 2 - Resultados relativos aos parâmetros dos semivariogramas ajustados para as variáveis supracitadas de acordo com os níveis de suficiência da Tabela 1 (seção 2) para o café.

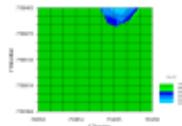
Variável	Níveis de corte	Mod.Aj.	$C_0$	$C+C_0$	IDE*	Alc. (A)	$R^2$	RSS
Fósforo (P)	$\geq 1,2$	Gau.	0,003	0,118	0,783	433,3	0,88	$1,48 \times 10^{-3}$
	$\leq 2,7$	Gau.	0,015	0,245	0,374	549,7	0,512	$4,66 \times 10^{-3}$
Potássio(K)	$[65;84]$	Exp.	0,027	0,202	0,866	48,6	0,316	$3,72 \times 10^{-3}$
M.Org.(MO)	$[3,6;5,0]$	Exp.	0,024	0,223	0,892	41,7	0,504	$1,78 \times 10^{-3}$
Cálcio (Ca)	$[2,25;3]$	Gau.	0,044	0,180	0,754	55,9	0,485	$4,6 \times 10^{-3}$
Magnésio (Mg)	$\geq 1$	Exp.	0,066	0,237	0,723	31,8	0,642	$3,79 \times 10^{-4}$
	$\leq 1,15$	Gau.	0,016	0,094	0,831	75,4	0,455	$3,04 \times 10^{-3}$
Acid./Alc. (pH)	$[5,2;5,6]$	Exp.	0,023	0,217	0,892	51,3	0,531	$2,51 \times 10^{-3}$
	$\leq 5,6$	Sph.	0,120	0,242	0,502	87,8	0,704	$2,74 \times 10^{-3}$
Altitude (Alt.)	$\geq 900m$	Sph.	0,000	0,278	1	282,6	0,982	$4,94 \times 10^{-3}$

Nota: \*IDE: Índice de Dependência Espacial (ZIMBACK, 2001).

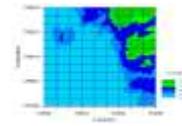
De acordo com a Tabela 2 pode-se notar que algumas das variáveis analisadas não ajustaram um único semivariograma que incluía as cotas inferior e superior como foi o caso do Fósforo, pH e magnésio, devido o número de zeros ou um serem insuficientes para o ajuste. Nestes casos adotou para a cota inferior e cota superior semivariogramas independentes e utilizou o software *arcGIZ 10.0* para realizar as álgebras de mapas dos dois mapas de probabilidade.( situação que será discutido após a apresentação da Figura 1). As demais variáveis ajustaram um único semivariograma para as duas cotas e ambas tiveram IDE alto, acima de 0,75 de acordo com a classificação de Zimback (2010).

Segue na Figura 1 os mapas de probabilidades obtidos por Krigagem Indicativa para as variáveis constantes na tabela 1 utilizando os respectivos pontos de corte.

**a) Fósforo (P)**



(a<sub>1</sub>) - Mapa de probabilidade de  $P \geq 1,2$  cmol/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8

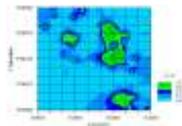


(a<sub>2</sub>) - Mapa de probabilidade de  $P \leq 2,7$  cmol/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8



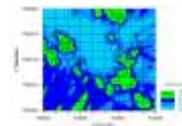
(a<sub>3</sub>) - Mapa intercepto do Fósforo (P) para a faixa de suficiência de 1,2 a 2,7 cmol/dm<sup>3</sup>, considerando a probabilidade maior ou igual a 80%.

**b) Potássio (K)**



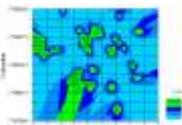
(b) - Mapa de probabilidade de  $65 \leq P \leq 84$  mg/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8

**c) Matéria Orgânica (MO)**



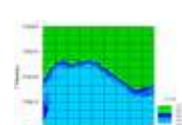
(c) - Mapa de probabilidade de  $3,6 \leq MO \leq 5$  dag/kg. Vizinhaça de predição:8.

**d) Cálcio (Ca)**



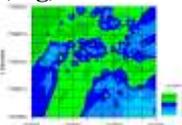
(d) - Mapa de probabilidade de  $3,6 \leq Ca \leq 4$  cmol/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8.

**e) Altitude (Alt)**

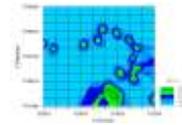


(e) Mapa de probabilidade de encontrar Altitude (Alt.) maior ou igual 900 m. N° de vizinhos: 12.

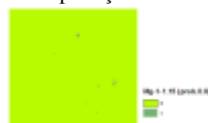
**f) Magnésio (Mg)**



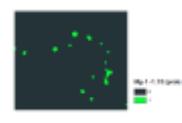
(f<sub>1</sub>) - Mapa de probabilidade de  $Mg \geq 1,0$  cmol/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8.



(f<sub>2</sub>) - Mapa de probabilidade de  $Mg \leq 1,15$  cmol/dm<sup>3</sup>. Vizinhaça de predição:8.

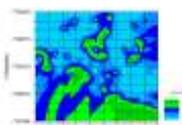


(f<sub>3</sub>) - Mapa intercepto do Magnésio (Mg) para a faixa de suficiência de 1,0 a 1,15 cmol/dm<sup>3</sup>, com a probabilidade maior ou igual a 80%.

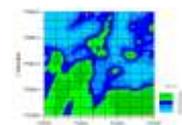


(f<sub>4</sub>) - Mapa intercepto do Magnésio (Mg) para a faixa de suficiência de 1,0 a 1,15 cmol/dm<sup>3</sup>, com a probabilidade maior ou igual a 60%.

**g) Acidez/ Alcalinidade (pH)**



(g<sub>1</sub>) - Mapa de probabilidade de  $5,2 \leq pH \leq 5,6$ . Vizinhaça de predição:8



(g<sub>2</sub>) - Mapa de probabilidade de  $pH \leq 5,6$ . Vizinhaça de predição:12

Figura 1- Mapas de Probabilidades gerados por meio de Krigagem Indicativa relativos às variáveis

analisadas de acordo com as faixas de suficiência constantes da Tabela 1, propícias ao cultivo de café.

Como se pode notar na Figura 1, o Fósforo para a cota inferior ( $P \geq 1,2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) encontra-se com nível de suficiência elevado em quase toda a área enquanto que para a cota superior ( $P \leq 2,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) o nível de suficiência é adequado somente numa subárea onde a altitude está dentro dos níveis de suficiência ( $\geq 900\text{m}$ ) porém com probabilidade mínima de 80% uma pequena área está dentro do nível de suficiência para as duas cotas, os níveis de suficiência de Matéria Orgânica e o pH encontra-se fora dos níveis de suficiência seja, nos locais onde a altitude apresenta-se inferiores a 900 metros, estes resultados corroboram com Richter et al. (2011). As demais variáveis, Magnésio, Cálcio e Potássio, apresentam-se insuficientes ou em desequilíbrio em toda a área não apresentando nenhuma relação com a altitude.

## 5. Conclusão

A Krigagem Indicativa mostrou-se eficiente para detectar áreas com carência dos nutrientes e verificar a interrelação com a altitude, permitindo assim um controle localizado dos níveis de suficiência destes nutrientes por meio de adubação e por meio de adoção de técnicas de manejo de consorciação que amenizam a perda de nutrientes no solo em locais de altitudes elevadas devido a lixiviação e erosão.

## Referências bibliográficas

- [1] ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. *Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. *Resumes...*Bangalore: CD-ROM. ASIC, 2004.
- [2] ALVES, L. C. *Faixas de suficiência e níveis ótimos de atributos da fertilidade do solo para a cultura do café em Minas Gerais, 2012*. Dissertação de mestrado, 58f. Dissertação (*Mestrado em Fitotecnia*), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Setembro de 2012.
- [3] CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO) - *Acompanhamento da Safra Brasileira de Café- Safra 2010, segunda estimativa*. Brasília, 2010.
- [4] LANDIM, P. M.B. *Análise estatística de dados geológicos*. 2.ed. São Paulo, Editora UNESP, 2003.
- [5] MACHADO, L. O., LANA, A. M. Q.; QUINTÃO, R. M.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. *Variabilidade espacial de atributos químicos do Solo em áreas sob sistema de plantio convencional*. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 31, p. 591-599, 2007.
- [6] PEREIRA, R. G. F. A. *Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (Coffea arábica L.) estritamente mole*. 1997. 96 f. Tese (*Doutorado em Ciência dos Alimentos*) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- [7] RICHTER, R. L.; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ALBA, P.J.; HANSEL, F.D. *variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem*. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, vol.7, N.13, 2011.

[8] ZIMBACK, C. R. L. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade*. 2001. 114 f. Tese (*Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia*) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.