

## Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP<sup>1</sup>

Space dependency of chemical attributes in an area with sugarcane plantation in Pereira Barreto, SP

Milton César Costa Campos<sup>2</sup>, José Marques Júnior<sup>3</sup>, Gener Tadeu Pereira<sup>4</sup> e Eriberto Vagner de Souza Freitas<sup>5</sup>

**Resumo** - O comportamento dos atributos químicos é influenciado diretamente pelo fluxo superficial e o movimento de água no interior do perfil do solo. O objetivo deste trabalho foi investigar a dependência espacial de atributos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar de transição arenito basalto em Pereira Barreto, SP. Foi realizado o mapeamento de uma área de 530,67 hectares, utilizando-se equipamento de sistema de posicionamento global, e elaborado em seguida o Modelo Digital de Elevação. Foram coletadas amostras de solo a cada 7 ha, nas profundidade de 0,0-0,25 e 0,80-1,00 m, totalizando 134 pontos. Foram determinados o pH, matéria orgânica, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, CTC e o V%. Todos os atributos químicos estudados apresentaram comportamento similar na camada superficial e subsuperficial dos solos, o que proporcionaram melhor visualização e definição de zonas homogêneas de manejo.

**Palavras-chaves:** Geoestatística. Variabilidade espacial. Cana-de-açúcar.

**Abstract** - The behavior of the chemical attributes is directly influenced by superficial flow and water movement inside the soil. This work aimed to study the space dependency of chemical attributes in an area with sugarcane plantation in Pereira Barreto, SP. An area of 530.67 hectares was mapped using an equipment of Global Positioning System and obtaining a Digital Elevation Model. A set of 134 soil samples were collected every seven hectares in the depths of 0 – 0.25 m and 0.80 – 1.00 m. The pH, organic matter (OM), Ca, Mg, K, BS, CEC and base saturation (BS) were analyzed. All the chemical attributes presented similar behavior in the superficial and subsuperficial layer of the soil, which provided better visualization and definition of the homogeneous tillage zones.

**Key words:** Geostatistic. Spatial variability. Sugarcane.

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 06/05/2007; aprovado em 13/09/2007

Parte da Dissertação do primeiro autor apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da FCAV/UNESP.

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo da UFRPE. Prof. do Instituto de Agricultura e Ambiente, UFAM. Rua 29 de Agosto, 786, Centro, CEP: 69.800-000, Humaitá-AM, agromccc@yahoo.com.br; mcesarsolos@ufam.edu.br

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. do Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, marques@fcav.unesp.br

<sup>4</sup>Estatístico, D.Sc., Prof. do Dep. de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, genertp@fcav.unesp.br

## Introdução

Os avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se quantificar a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, buscando otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO et al. 2002). A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (VIEIRA et al. 2002).

O conhecimento desta variação é imprescindível para o levantamento de solos, para avaliação da fertilidade, para o desenvolvimento de esquemas de amostragens adequados, para o planejamento experimental e para a definição de práticas apropriadas de manejo (SOUZA, 1992). Além disso, o estudo da dependência espacial apresenta-se como uma alternativa não só para reduzir os efeitos da variação do solo na produção das culturas, mas também, para estimar respostas das propriedades do solo em função de determinadas práticas de manejo, permitindo a redução dos efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo, em muitos casos, pode influenciar na interpretação de seus efeitos (SOUZA et al. 2004).

Johnson e Richard Junior (2005) afirmam que em função da importância econômica da cultura da cana-de-açúcar, justifica os estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo, visto que com o uso destas técnicas há maior captação das oscilações ocorridas nas áreas cultivadas, o que poderá propiciar a implantação de um sistema de cultivo comercial que reduza a variação das características intrínsecas do solo e propicie o estabelecimento do planejamento agrícola adequado. Assim, para as áreas com características similares entre si, teriam um mesmo conjunto de práticas agrônômicas e zonas com comportamento diferenciado, teriam conjunto de práticas distintas (FLOWERS et al., 2005). Diante disto, o objetivo deste trabalho foi investigar a dependência espacial de atributos químicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar de transição arenito basalto em Pereira Barreto, SP.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no município de Pereira Barreto, nordeste do Estado de São Paulo (20°41'15" S e 51°03'45" W). Tendo relevo predominantemente plano a suave ondulado, com declividades médias variando de 3 a 6%, e altitude oscilando entre 335 a 385 m. Nesta região

predominam Latossolos, distribuídos ao longo das vertentes, com perfis retilíneos e convexos (IPT, 1981a). Nas posições mais elevadas e planas destas colinas, estão Latossolos Vermelhos textura média, cujo material de origem derivou-se principalmente de arenitos da Formação Santo Anastácio, e estes transicionam, encosta abaixo, para Latossolos Vermelhos Eutroféricos textura argilosa, segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006), originados principalmente dos produtos da alteração dos basaltos Formação Serra Geral (IPT, 1981b).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso de bosque com chuvas de verão e estiagem no inverno (Aw), com temperaturas variando entre 26,8 °C e 21,2 °C e com precipitação média anual de 1128 mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. A vegetação original era caracterizada por floresta tropical subcaducifolia, estando atualmente sob manejo de transição de pastagem para cultivo de cana-de-açúcar.

Realizou-se o mapeamento de uma área de 530,67 hectares, utilizando-se equipamento de sistema de posicionamento global de navegação (GPS). Em seguida, elaborou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, cuja fisiografia é representativa da região (Figura 1). Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos de 7 hectares, profundidades de 0,0-0,25; e 0,80-1,00 m., totalizando 134 pontos (Figura 1).

Na caracterização química do solo foram determinados, a acidez ativa (pH em  $\text{CaCl}_2$ ) determinada potenciométricamente utilizando-se a relação 1:2,5 de solo:em  $\text{CaCl}_2$  segundo Raij et al. (1987). As bases trocáveis cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), foram extraídos utilizando o método da resina trocadora de íons proposta por Raij et al. (1987), o mesmo método anteriormente citado foi utilizado para determinar a acidez potencial ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculados os valores da soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%). A determinação do teor de matéria orgânica foi realizada segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Os atributos químicos foram analisados por meio da análise estatística descritiva (média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do programa computacional SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997). A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA et al., 1983), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

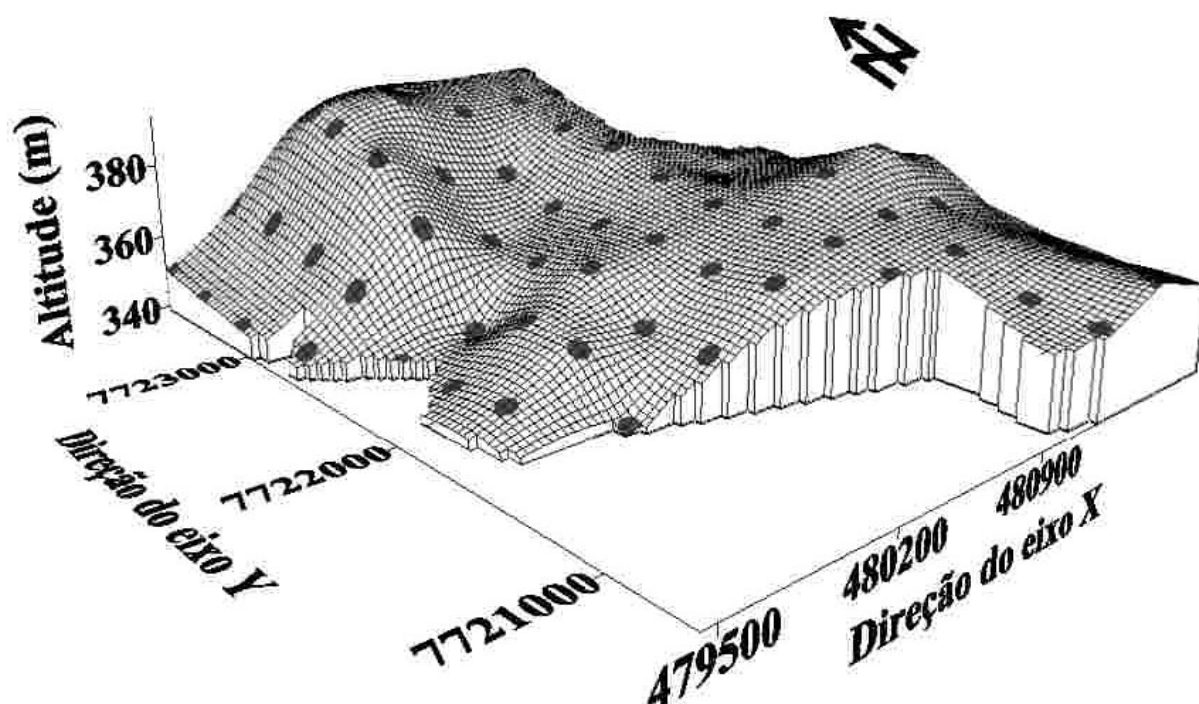


Figura 1- Modelo de Elevação Digital da área estudada e com os respectivos locais de amostragem

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

em que:

$N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ).

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano (MCBRATNEY; WEBSTER, 1986). Estes modelos foram ajustados por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998) e posteriormente foram usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada e menor SQR (soma de quadrados do resíduo). Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

## Resultados e Discussão

Os valores da média e da mediana para as variáveis pH,  $K^+$ , SB, V e MO na profundidade de 0,0 – 0,25 m e o pH, MO e V na profundidade 0,80 – 1,00 m (Tabela 1), estão próximos, indicando distribuições simétricas, para as demais variáveis ocorreram valores com certo distanciamento entre a média e a mediana, o que pode ser um indicativo de distribuição de dados assimétricos, em que as medidas de tendência central são dominadas por valores atípicos, concordando com os resultados encontrados por Mello et al. (2006).

Seguindo a classificação do CV, proposta por Wilding e Drees (1983), observou-se que os valores do pH nas duas profundidades estudadas apresentaram baixa variabilidade, ou seja,  $CV < 15\%$ , concordando com os resultados encontrados por Corá et al. (2004). Para os teores de MO, e V(%) nas duas profundidades e CTC na profundidade 0,0 – 0,25 m apresentaram moderada variabilidade, isto é,  $15 < CV < 35\%$  corroborando com os resultados encontrados por Salviano et al., 1998. As demais variáveis apresentaram alta variabilidade, com valores de coeficientes de variação ( $CV > 35\%$ ).

**Tabela 1** – Estatística descritiva para as variáveis pH, cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V) e matéria orgânica (M.O.) nas profundidades 0,00–0,25 e 0,80–1,00 m em uma área sob cultivo de cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP

| Estatística<br>Descritiva | pH    | Ca                                 | Mg                 | K                  | SB                 | CTC                | V      | MO                 |
|---------------------------|-------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|
|                           |       | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |                    |                    |                    |                    | %      | g kg <sup>-1</sup> |
| 0,0–0,25 m                |       |                                    |                    |                    |                    |                    |        |                    |
| Média                     | 5,05  | 19,40                              | 8,84               | 2,18               | 30,46              | 52,00              | 52,57  | 16,95              |
| Mediana                   | 5,10  | 14,00                              | 7,00               | 2,30               | 29,36              | 47,90              | 53,05  | 16,00              |
| <sup>1</sup> DP           | 0,26  | 13,40                              | 5,51               | 0,98               | 19,14              | 15,40              | 10,95  | 3,55               |
| Variância                 | 0,06  | 30,30                              | 180,00             | 0,97               | 366,56             | 237,00             | 119,91 | 20,70              |
| <sup>2</sup> CV (%)       | 5,14  | 69,05                              | 62,32              | 45,17              | 62,83              | 29,56              | 20,82  | 20,94              |
| Assimetria                | -0,25 | 2,20                               | 2,07               | 0,11               | 2,15               | 0,69               | 0,12   | 1,29               |
| Curtose                   | -0,07 | 6,23                               | 5,12               | -1,06              | 6,04               | -0,73              | 0,30   | 2,76               |
| <sup>3</sup> d            | 0,14* | 0,19 <sup>ns</sup>                 | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,09*              | 0,17 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup> | 0,08*  | 0,18 <sup>ns</sup> |
| 0,80–1,00 m               |       |                                    |                    |                    |                    |                    |        |                    |
| Média                     | 5,11  | 17,00                              | 7,63               | 0,19               | 25,53              | 45,45              | 51,71  | 8,75               |
| Mediana                   | 5,10  | 12,00                              | 4,00               | 0,60               | 17,50              | 37,70              | 49,37  | 8,00               |
| <sup>1</sup> DP           | 0,15  | 11,40                              | 8,38               | 0,79               | 18,46              | 19,55              | 14,47  | 2,27               |
| Variância                 | 0,154 | 131,00                             | 70,10              | 0,63               | 340,94             | 382,3              | 209,41 | 5,16               |
| <sup>2</sup> CV (%)       | 7,67  | 67,32                              | 98,10              | 86,71              | 72,30              | 43,02              | 27,98  | 25,97              |
| Assimetria                | -0,34 | 1,39                               | 2302,00            | 2,59               | 1,99               | 2,06               | 0,10   | 1,18               |
| Curtose                   | -0,23 | 1,31                               | 12,55              | 7,86               | 5,09               | 5,89               | 0,66   | 1,30               |
| <sup>3</sup> d            | 0,08* | 0,19 <sup>ns</sup>                 | 0,29 <sup>ns</sup> | 0,27 <sup>ns</sup> | 0,22 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> | 0,07*  | 0,18 <sup>ns</sup> |

<sup>1</sup> DP = desvio padrão; <sup>2</sup> CV = coeficiente de variação; <sup>3</sup> d = teste de normalidade, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov

As variáveis pH e V(%) nas duas profundidades estudadas apresentaram significância pelo teste Kolmogorov-Smirnov. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, entretanto é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Os resultados dos parâmetros do semivariograma das variáveis estudadas são apresentados na Tabela 2. Todas os atributos do solo analisados apresentaram dependência espacial nas duas profundidades, sendo que o modelo esférico ajustou-se melhor para todas as variáveis, exceto para o K<sup>+</sup> para a profundidade de 0,80–1,00 m, que ajustou-se ao modelo exponencial. De acordo com Mcbratney; Webster (1986) os modelos matemáticos que mais ajustam-se as propriedades do solo são os modelos esférico e exponencial.

A escolha dos modelos dos semivariogramas, foram considerados os valores de R<sup>2</sup> e SQR (Figura 2). Segundo Robertson (1998), a SQR é um parâmetro mais robusto do que o R<sup>2</sup> e propicia uma medida mais exata do modelo que se ajusta aos dados e o programa GS<sup>+</sup> utiliza a combinação de parâmetros do semivariograma para minimizar a SQR para cada modelo.

O efeito pepita (C<sub>0</sub>) representa a variância não explicada ou ao acaso, freqüentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas na escala de amostragem (VIEIRA, 2000). A relação em percentagem entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma (C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>) pode indicar o grau de dependência espacial (TRANGMAR et al., 1985).

A respeito da razão de dependência (RD), observa-se (Tabela 2), que na profundidade 0,0–0,25 m apenas o K<sup>+</sup> e a MO apresentam moderada dependência espacial (26–75%), as demais variáveis apresentaram alta dependência

**Tabela 2** – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis pH, cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V) e matéria orgânica (M.O.) das amostras coletadas nos pontos de cruzamento da malha

| Parâmetro   | pH      | Ca                                 | Mg      | K      | SB      | CTC     | V       | MO                 |
|---|---------|------------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|--------------------|
|   |         | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |         |        |         |         | %       | g kg <sup>-1</sup> |
| 0,0–0,25 m  |         |                                    |         |        |         |         |         |                    |
| Modelo  | Esf.    | Esf.                               | Esf.    | Esf.   | Esf.    | Esf.    | Esf.    | Esf.               |
| Efeito pepita (C <sub>0</sub> )   | 0,01    | 18,40                              | 2,90    | 0,36   | 53,00   | 28,00   | 14,90   | 5,35               |
| Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )                               | 0,06    | 296,40                             | 47,38   | 1,10   | 392,90  | 706,90  | 109,30  | 13,96              |
| Alcance (a)   | 2013    | 2583                               | 2943    | 1895   | 2128    | 2787    | 2389    | 1885               |
| <sup>2</sup> RD=[C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )]x100 | 16,67   | 6,20                               | 6,12    | 32,72  | 13,49   | 3,96    | 13,63   | 38,32              |
| <sup>1</sup> R <sup>2</sup> (%)   | 0,98    | 0,96                               | 0,97    | 0,96   | 0,99    | 0,98    | 0,98    | 0,97               |
| <sup>2</sup> SQR  | 0,01    | 2341,00                            | 53,40   | 0,017  | 911,00  | 8064,00 | 130,00  | 2,23               |
| 0,80–1,00 m   |         |                                    |         |        |         |         |         |                    |
| Modelo  | Esf.    | Esf.                               | Esf.    | Exp.   | Esf.    | Esf.    | Esf.    | Esf.               |
| Efeito pepita (C <sub>0</sub> )   | 0,02    | 38,80                              | 25,60   | 0,18   | 3,20    | 107,00  | 43,90   | 1,65               |
| Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )                               | 0,16    | 159,60                             | 88,50   | 0,67   | 285,70  | 525,00  | 214,00  | 4,55               |
| Alcance (a)   | 1760,00 | 2094,00                            | 2234,00 | 786,00 | 3055,00 | 2572,00 | 1637,00 | 2408,00            |
| <sup>2</sup> RD=[C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )]x100 | 2,50    | 24,31                              | 28,92   | 26,87  | 11,12   | 20,38   | 20,51   | 36,26              |
| <sup>1</sup> R <sup>2</sup> (%)   | 0,81    | 0,95                               | 0,76    | 0,84   | 0,97    | 0,97    | 0,95    | 0,87               |
| <sup>2</sup> SQR  | 0,01    | 625,00                             | 1053,00 | 0,01   | 1306,00 | 5605,00 | 1140,00 | 1,13               |

<sup>1</sup>RD = razão de dependência espacial; <sup>2</sup>R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; <sup>3</sup>SQR = soma dos quadrados dos resíduos

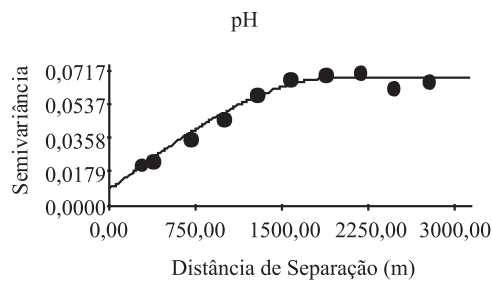
espacial (< 26%). Já na profundidade de 0,80-1,00 m apenas as variáveis K<sup>+</sup>, MO e Mg<sup>2+</sup> apresentaram moderada dependência espacial (26–75%), as demais apresentaram alta dependência espacial (< 26%), concordando com Carvalho et al. (2002). De acordo com Grego e Vieira (2005) estes resultados mostram a importância da caracterização espacial dos atributos químicos do solo mesmo em pequenas áreas.

Os atributos do solo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, e, na camada superficial (0,0–0,25 m), os teores de Mg<sup>2+</sup> e CTC apresentaram os maiores alcances, ou seja, 2.943 e 2.787 m, respectivamente, enquanto os teores de MO e K<sup>+</sup> apresentaram os menores alcances, e 1.885 e 1.895 m, respectivamente (Tabela 2 e Figura 2). Segundo Trangmar et al. (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação. Portanto, as estimativas obtidas por interpolação por krigagem para as variáveis MO e K<sup>+</sup> po-

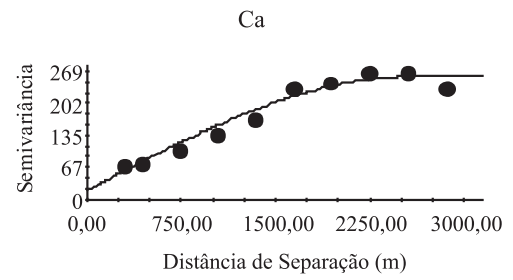
dem apresentar-se pouco confiáveis para fins práticos, em razão dos baixos valores de alcance de dependência espacial apresentados por estes atributos.

Os alcances de dependência espacial para os atributos do solo na profundidade de 0,80–1,00 m foram com exceção da SB e MO, são maiores, quando comparados àqueles referentes à profundidade de 0,00–0,25 m (Tabela 2 e Figura 3). O menor valor foi encontrado para os teores de K<sup>+</sup> (786 m) e o maior para os teores de SB (3055 m). Estes resultados demonstram maior descontinuidade na distribuição espacial dos atributos do solo na camada de 0,80-1,00 m de profundidade, concordando com os resultados encontrados por Corá et al. (2004) que afirmam que os Latossolos apresentam-se mais homogêneos ao longo do perfil, como pelo fato de que a camada mais profunda está menos sujeita aos efeitos do manejo do solo realizado na superfície.

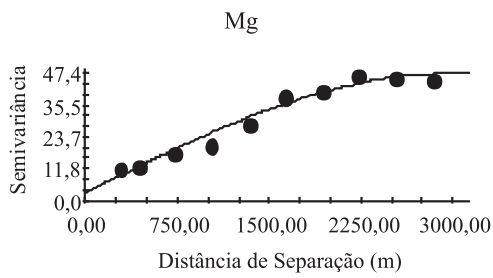
Com os valores estimados por krigagem, foram gerados mapas de distribuição espacial dos atributos analisados nas Figuras 4 e 5, observa-se um arranjo de distribuição espacial dos atributos químicos semelhante nas



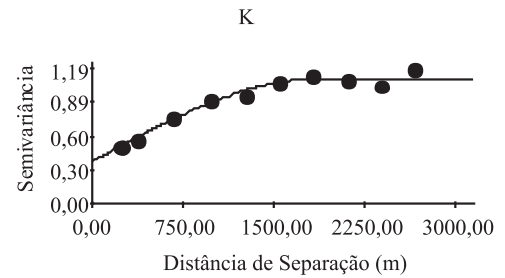
Esf. (0,0087-0,0682-2013-0,98)



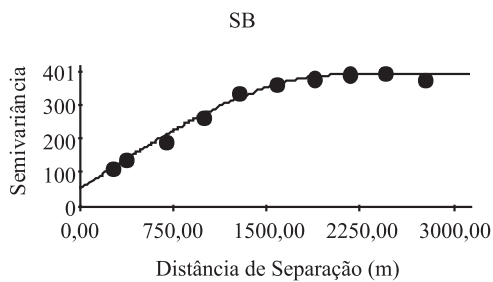
Esf. (18,40-259,40-2583-0,96)



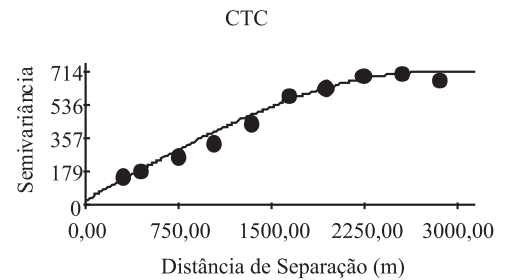
Esf. (2,90-47,38-2943-0,97)



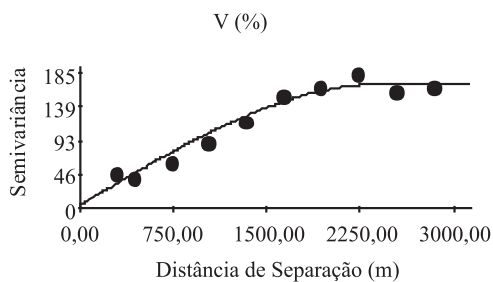
Esf. (0,368-1,109-1899-0,96)



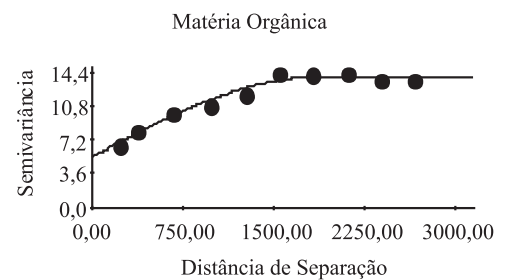
Esf. (53,00-392,90-2128-0,99)



Esf. (28,00-706,9-2787-0,98)

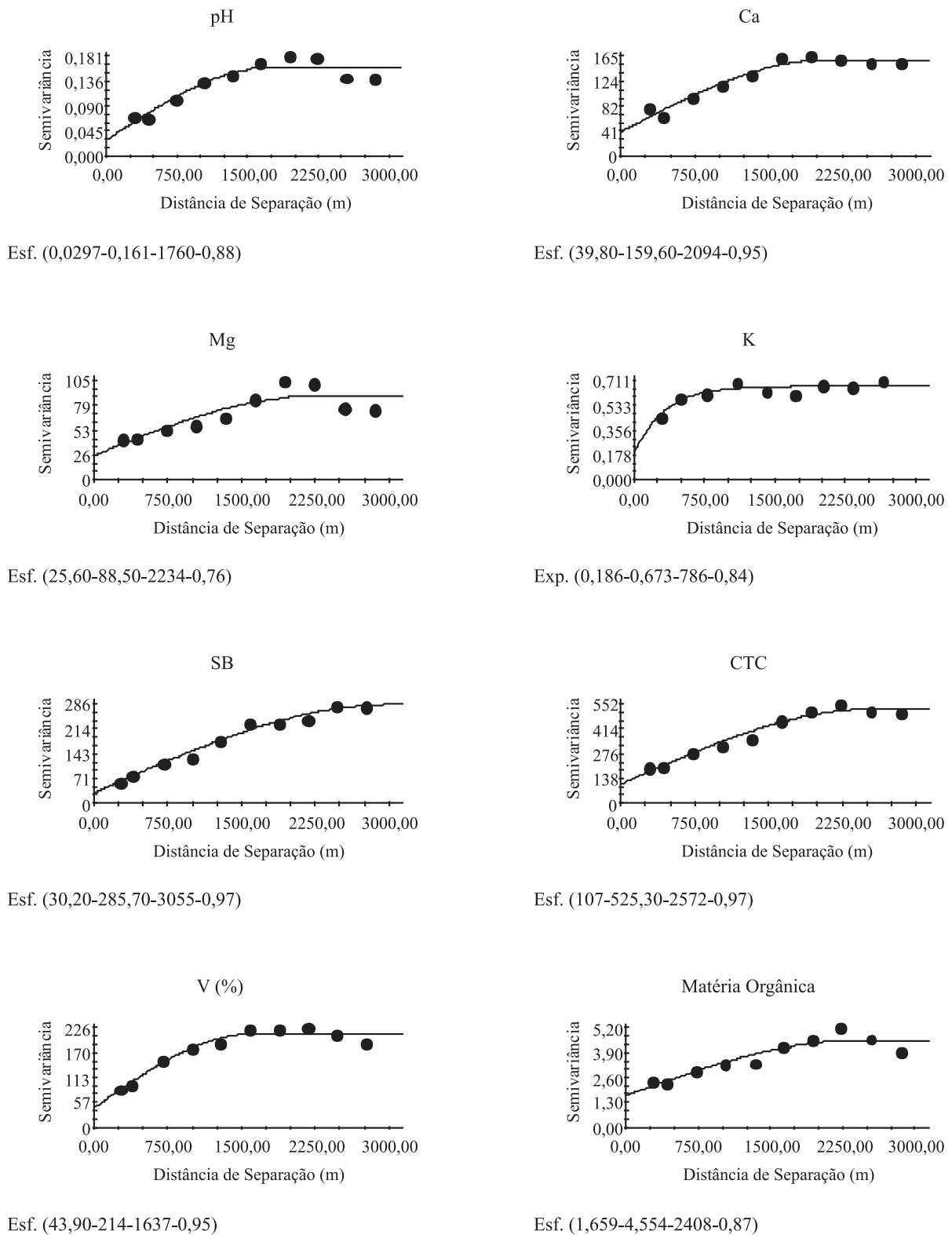


Esf. (4,50-171,4-2466-0,96)

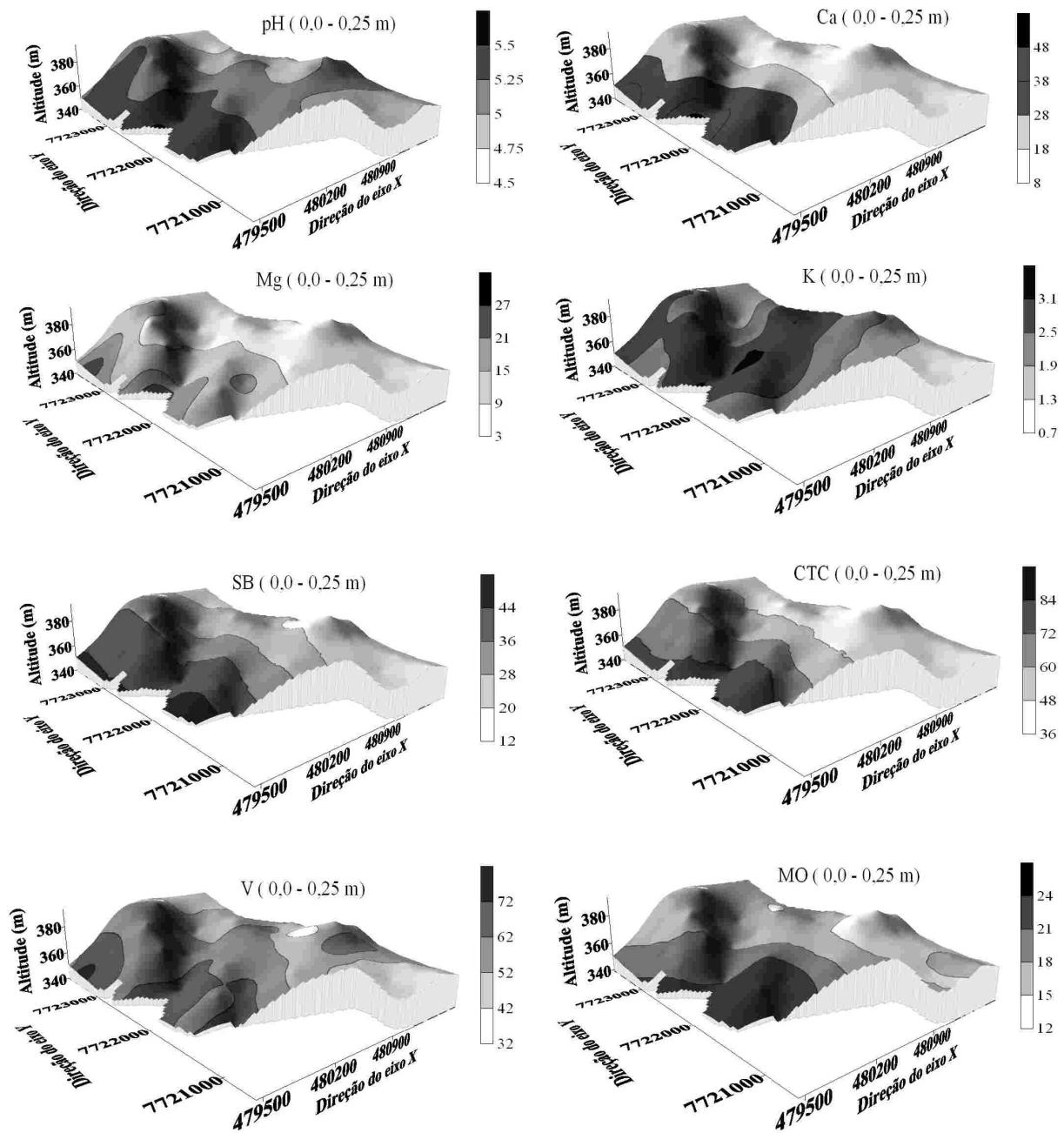


Esf. (5,350-13,960-1885-0,97)

**Figura 2** - Semivariograma das variáveis pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, CTC (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), V (%) e MO (g kg<sup>-1</sup>) na profundidade 0,00–0,25 m, em Pereira Barreto, SP. Esf (C<sub>0</sub>; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub>; a), Esf = modelo esférico, C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub> = patamar; a = alcance



**Figura 3** - Semivariograma das variáveis pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, CTC (mmol<sub>e</sub> dm<sup>-3</sup>), V(%) e MO (g kg<sup>-1</sup>), na profundidade 0,80 – 1,00 m, em Pereira Barreto, SP. Esf (C<sub>0</sub>; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub>; a), Esf = modelo esférico, C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>1</sub>+C<sub>0</sub> = patamar; a = alcance

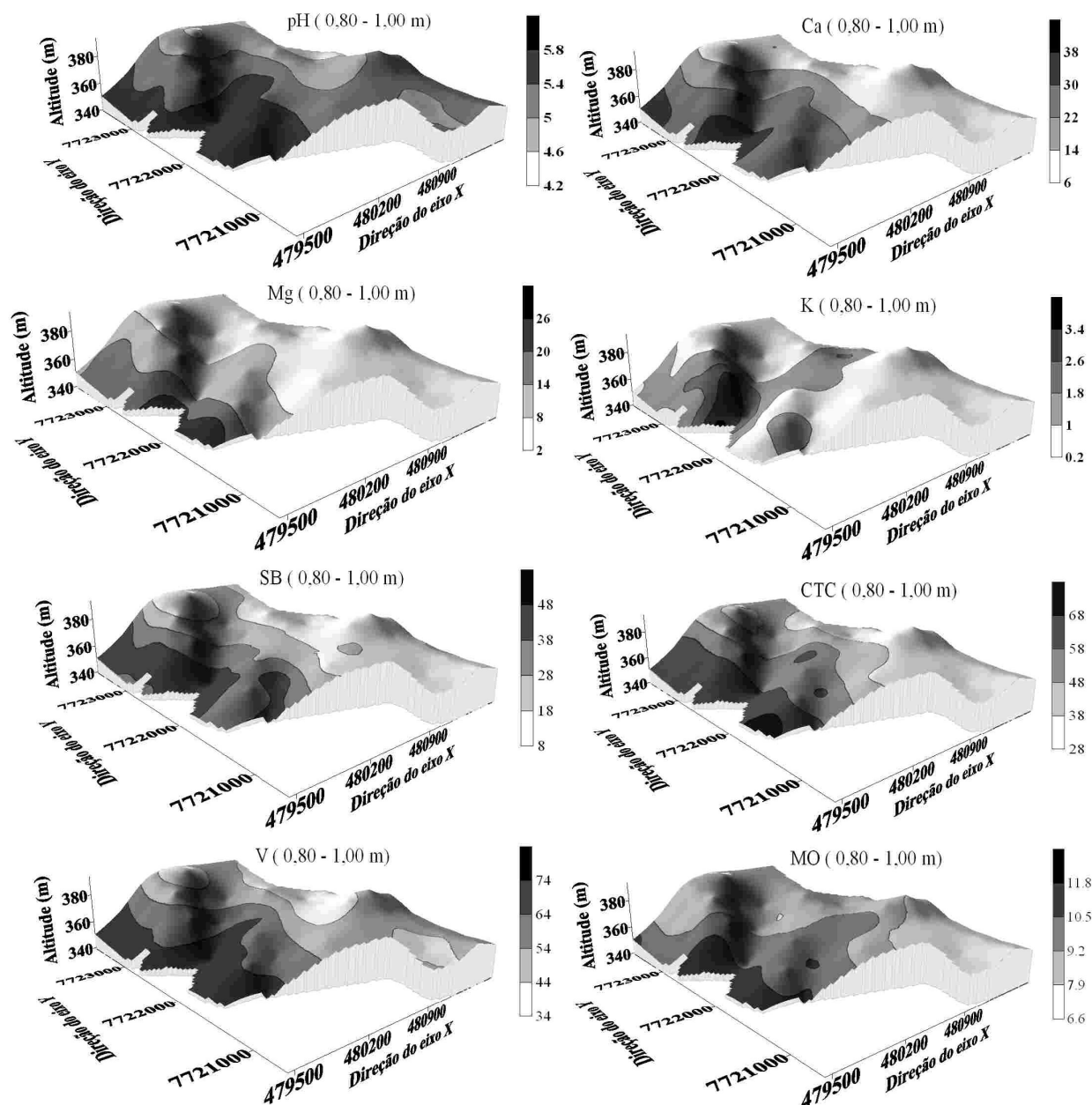


**Figura 4 -** Mapas de krigagem das variáveis pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB, CTC (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), V (%) e MO (g kg<sup>-1</sup>), na profundidade 0,00-0,25 m, em uma área sob cultivo de cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP

duas profundidades. Todos os atributos estudados, exceto o potássio, apresentaram menores valores nas áreas mais elevada dos mapas, possibilitando distinguir e dividir a área em duas partes, com diferentes níveis de fertilidade, sendo estas duas zonas homogêneas de manejo específico. De

acordo com Corá e Beraldo (2006) isto apontaria para a aplicação de adubos e corretivos de forma diferenciada, conforme destaca Souza et al., (2007) que estudou a aplicação de insumos na cultura de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas.





**Figura 5** - Mapas de krigagem das variáveis pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , SB, CTC ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), V(%) e MO ( $\text{g kg}^{-1}$ ), na profundidade 0,80 – 1,00 m, em uma área sob cultivo de cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP

## Conclusões

Considerando a profundidade 0,0 - 0,25 m, todas as variáveis estudadas apresentaram alta dependência espacial, exceto o  $\text{K}^+$  e a MO que apresentaram moderada dependência espacial. Para a profundidade 0,80 - 1,00 m, novamente o  $\text{K}^+$ , MO e também o  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram moderada dependência espacial, as demais variáveis apresentaram alta dependência espacial. Os alcances de dependência espacial

para os atributos químicos do solo na camada de 0,80 - 1,00 m foram menores, quando comparados àqueles referentes à camada de 0,00 – 0,25 m, exceto para as variáveis SB e MO. Os atributos químicos estudados apresentaram comportamento similar tanto na camada superficial e subsuperficial do solo, o que proporcionou melhor visualização e definição de zonas homogêneas de manejo.

## Referências

- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1151-1159, 2002.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 374-387, 2006.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FLOWERS, M.; WEISZ, R.; WHITE, J. G. Yield-based management zones and grid sampling strategies describing soil test and nutrient variability. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 968-982, 2005.
- GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer for windows: realese 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York, 1999. 619p.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala - 1:1.000.000**. São Paulo, 1981a, v. 1, 94p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala - 1:500.000**. São Paulo, 1981b v. 1, 126p.
- ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JOHNSON, R. M.; RICHARD JUNIOR, E. P. Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 760-771, 2005.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v. 37, p. 617-639, 1986.
- MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 294-305, 2006.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987.107p.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 115-122, 1998.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cory: SAS, 1997. 905p.
- SOUZA, L. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, 1992. 162f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.
- SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1763-1771, 2004.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances Agronomy**, v. 38, p. 45-93, 1985.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos Ciência do Solo** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 1-54.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties, v. 51, p. 1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.
- WILDING, L. P.; DREES, L. R. **Spatial variability and pedology**. In: WILDING, L. P. & DREES, L. R., eds. Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions. New York, Elsevier, 1983. p. 83-116.