

---

**NOTA TÉCNICA:**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO UTILIZANDO KRIGAGEM INDICATIVA<sup>1</sup>**

Samuel de Assis Silva<sup>2</sup>, Julião Soares de Souza Lima<sup>3</sup>, Moises Zucoloto<sup>4</sup>

**RESUMO**

Objetivou-se com esse trabalho utilizar métodos de krigagem indicativa na construção de mapas de probabilidade de ocorrência das frações granulométricas do solo em duas profundidades em um Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo de café conilon. O trabalho foi realizado na fazenda experimental do INCAPER-ES. O solo foi amostrado na faixa de 0 - 0,20 m de profundidade, em uma malha irregular com 109 pontos. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e posteriormente transformados em indicadores tendo a média como ponto de corte. A probabilidade de ocorrência de valores de argila e silte, em relação à média, de um modo geral, segue distribuição inversa devido ao comportamento antagônico dessas frações.

**Palavras-chave:** análise textural, geoestatística, análise espacial

**ABSTRACT**

**SPATIAL DISTRIBUTION OF THE FRACTIONS GRANULOMETRICS IN A RED YELLOW OXISOL USING INDICATIVE KRIG**

The objective of this work was to use indicator kriging methods in the construction maps of occurrence probability of size fractions in two soil depths in a Typic Hapludox soil under conilon coffee cultivation. The study was conducted at the experimental farm of INCAPER-ES. The soil samples were sampled in the range 0 to 0.20 m depth in an irregular mesh with 109 points. Data were analyzed by descriptive statistics and later transformed into indicators with the average as the cutoff point. The probability of occurrence of values of clay and silt on the average, in general, following reverse distribution due to antagonistic behavior of these fractions.

**Keywords:** analysis textural, geoestatistic, spatial analysis

---

**Recebido para publicação em 16/03/2010. Aprovado em 05/04/2011.**

1- Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFES.

2- Eng. Agrônomo, M. Sc. Produção Vegetal, Doutorando em Engenharia Agrícola, Bolsista CNPq, Dep. Eng. Agrícola, UFV, Viçosa-MG, email: samuel-assis@hotmail.com

3- Eng. Agrícola, Prof. Associado, Dep. Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFES, Alegre-ES, email: limajss@yahoo.com.br

4- Eng. Agrônomo, M. Sc. Produção Vegetal, Doutorando em Fitotecnia, Bolsista CNPq, Dep. de Fitotecnia, UFV, Viçosa-MG, email: moiseszucoloto@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a distribuição granulométrica de partículas sólidas do solo é essencial para várias aplicações, como na análise da qualidade, estudo sobre compactação e movimentação da água no solo. Além disso nos processos erosivos que envolvem transporte e deposição de partículas sólidas, são determinantes na intensidade e velocidade de arraste e deposição. Kitamura *et al.* (2007) afirmam que o estudo dos atributos físicos dos solos, envolvendo principalmente aqueles relacionados com sua distribuição granulométrica e que influenciam diretamente o escoamento superficial e o movimento de água no solo, é fundamental para o planejamento ambiental.

Nas paisagens naturais, os solos apresentam heterogeneidade, tanto no sentido vertical (profundidade) como no plano horizontal, resultante das interações dos seus fatores de formação, dados por: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. O comportamento aparentemente aleatório das variações pedológicas, longe de representar a realidade, tem origem na falta de conhecimento humano sobre esses fenômenos naturais (WEBSTER, 2000). Como consequência da variação contínua dos solos, é válida a teoria de que os atributos localizados mais próximos são mais semelhantes entre si do que os mais distantes (MATHERON, 1963; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; KUZUYAKOVA *et al.*, 2001).

Dentro desse contexto de variação dos atributos em função do espaço, a geostatística tem tido grande aplicação, principalmente para possibilitar estimativas ou simulações de variáveis em locais não amostrados. Diversos autores têm utilizado métodos geostatísticos para estudar a variação de atributos físicos do solo, constatando que, na maioria das vezes, a variação desses atributos foge da aleatoriedade (GONÇALVES & FOLEGATTI, 2002; BARBIERI *et al.*, 2002; KITAMURA *et al.*, 2007).

Além da possibilidade de conhecer a variação espacial dos atributos e determinar sua magnitude, a geostatística possibilita a definição de áreas com maior ou menor probabilidade que um determinado evento ocorra, por meio da krigagem indicativa

(LANDIM & STURARO, 2002), favorecendo a compreensão de diferentes fenômenos inerentes ao sistema solo. Esta decisão é, portanto, de fundamental importância, podendo tal escolha dar-se por conhecer informações pertinentes sobre certos valores considerados críticos em relação à variável sob estudo orientado a tomada de decisão (LANDIM & STURARO, 2002).

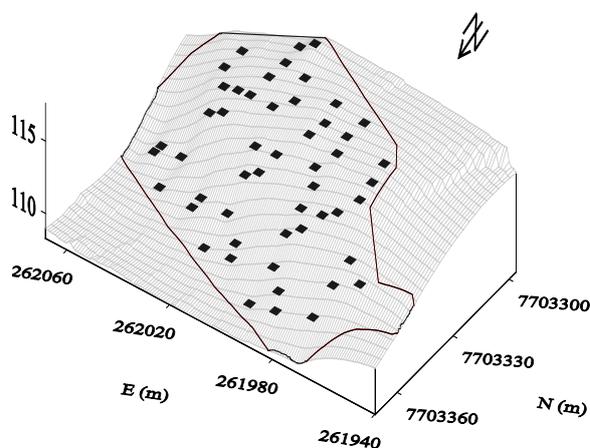
Objetivou-se, com esse trabalho, utilizar a krigagem indicativa na construção de mapas de probabilidade de ocorrência das frações granulométricas do solo, em duas profundidades, em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com café conilon.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, no distrito de Pacotuba, no INCAPER, entre latitudes de 20° 45' 17.31" S e longitudes de 41° 17' 8.86" W.

As amostras de solo foram coletadas numa área, cultivada a cinco anos com café conilon (*Coffea canephora* Pierre x Froenher), situada na parte superior e média em uma superfície convexa, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

As amostragens de solo foram realizadas na faixa de 0 - 0,20 m de profundidade em uma malha irregular de, aproximadamente, 10.000 m<sup>2</sup>, com 109 pontos amostrais, com declividade média de 30% (Figura 1). As coordenadas de cada ponto amostral foram definidas com auxílio de um GPS topográfico.



**Figura 1.** Modelo digital de elevação (MDE) da área com a distribuição dos pontos amostrais.

As frações granulométricas do solo (argila, silte e areia total) foram determinadas em laboratório, de acordo com metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997).

Os dados foram passados por uma análise descritiva e exploratória para a verificação de *outliers* e testar a normalidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5 % de probabilidade (KS). Em seguida, realizou-se uma transformação não linear sobre o conjunto de dados amostrais para cada atributo, denominada codificação por indicação.

Essa codificação por indicação, primeiro passo para realização da krigagem indicativa, consiste em transformar os dados originais em indicadores, isto é, transformar os valores que estão acima de um determinado nível de corte em um (1) e os que estão abaixo, em zero (0):

$$i_j(V_c) = \begin{cases} 0 & \text{se } V_j \leq V_c \\ 1 & \text{se } V_j > V_c \end{cases} \quad (1)$$

em que

$V_c$  = nível de corte;  
 $V_j$  = valor observado.

Neste trabalho, essa transformação foi realizada utilizando a média de cada atributo como valor de corte, onde, para valores acima deste atribui-se peso igual a 1 (um) e valores abaixo peso igual a 0 (zero).

A análise geoestatística foi efetuada por meio de ajuste do semivariograma indicativo estimado utilizando-se a seguinte equação:

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

em que

$h$  = passo (*lag*) básico;  
 $vc$  = nível de corte (*cutoff*);  
 $N$  = número de pares.

A nuvem de pontos  $[h, \gamma(h, V_c)]$  ajusta-se uma função matemática, cujos parâmetros são conhecidos como: efeito pepita ( $C_0$ ), correspondendo ao valor

da interseção no eixo das semivariâncias; patamar ( $C_0+C_1$ ), aproximadamente igual ao valor da variância dos dados; e alcance ( $a$ ), que representa a distância na qual o semivariograma atinge o valor do patamar e a região de dependência espacial entre as amostras (VIEIRA *et al.*, 1983).

Para a escolha do modelo adotado, baseou-se na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais. Na sequência, também foi utilizado o  $R^2$  da validação cruzada ( $R^2-VC$ ) (valores observados versus valores estimados), como critério de escolha.

Para análise do índice de dependência espacial (IDE%), foi utilizado a relação definida pelo *software* GS+ ( $C_1/C_0 + C_1$ ) e os intervalos propostos por Zimback (2001), que considera a dependência espacial fraca ( $IDE \leq 25\%$ ); moderada ( $25\% < IDE \leq 75\%$ ) e forte ( $IDE > 75\%$ ).

A função semivariograma foi utilizada na produção de mapas interpolados por krigagem indicativa, onde foram realizadas estimativas de probabilidade baseadas em valores que se situam abaixo ou acima do nível de corte (*cutoff*), neste caso a média.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados da estatística descritiva das frações granulométricas são apresentadas na Tabela 1. Constatou-se a presença de *outliers*, bem como sua interferência sobre as medidas de posição e dispersão, optando-se pela sua retirada. As medidas de tendência central (média e mediana) estão próximas para todas as frações nas profundidades estudadas. Tal fato indica simetria na distribuição dos dados, o que é confirmado por valores de coeficiente de assimetria próximos de zero.

Para o coeficiente de curtose, que mostra a dispersão da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, as frações apresentaram distribuição platicúrtica, porém com achatamento suave em relação à curva de distribuição normal, uma vez que esses valores encontram-se próximos de zero. Tais resultados são confirmados pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ), que indica distribuição normal para as frações nas profundidades em estudo.

O coeficiente de variação (CV), segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), apresentou-se abaixo de 12 % somente para a argila na profundidade de 0-0,20 m, sendo, portanto, considerado de média variação. As demais frações, apresentaram coeficiente de variação no intervalo de 12 % a 60 % de variação, sendo classificados como médios. A maior variação foi observada para o silte, justificado pela sua movimentação no solo no escoamento superficial durante o processo erosivo. Além disso, o seu método de determinação contribui para sua maior variação, devido ao risco de se incorporar à essa fração, parte da variabilidade existente nos atributos areia e argila.

Com base nos valores médios de proporção

de argila, silte e areia e baseado no modelo de identificação de classes texturais de amostras de solo (triângulo textural) apresentada por Santos *et al.* (2005), é possível classificar o perfil do solo como textura argilosa, conforme Figura 2.

Entretanto, a distribuição granulométrica no perfil do solo em questão não pode ser confundida com a classe textural do solo da área, que, de acordo com Demattê (1980), se refere à textura argila pesada.

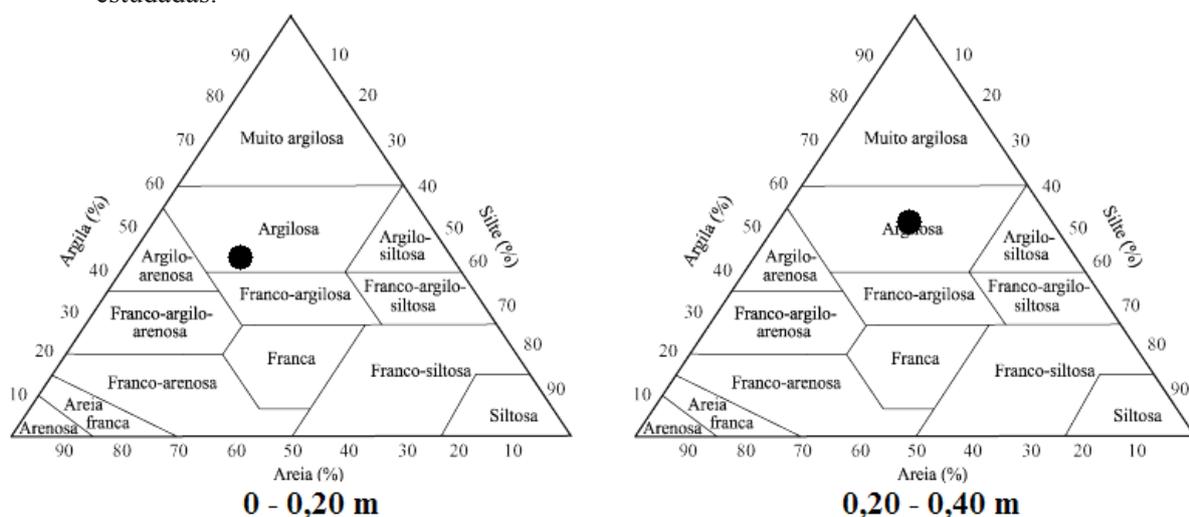
As frações granulométricas, com exceção do silte, apresentaram dependência espacial nas duas profundidades, conforme semivariogramas indicativos apresentados na Figura 3. Esses resultados corroboram os encontrados por Kitamura

**Tabela 1.** Estatística descritiva das frações granulométricas argila, silte e areia, em duas profundidades

Atributos	Estatística								
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	S	CV%	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	p-valor
Argila <sup>1</sup>	416,37	411,90	251,70	602,80	78,57	18,87	0,06	-0,53	ns
Argila <sup>2</sup>	497,40	499,00	382,00	622,00	53,28	10,72	-0,06	-0,36	ns
Silte <sup>1</sup>	189,27	193,08	79,51	340,77	56,69	29,95	0,35	-0,25	ns
Silte <sup>2</sup>	186,70	181,90	53,15	324,45	61,21	32,78	0,01	-0,33	ns
Areia <sup>1</sup>	396,29	397,42	259,82	540,05	60,00	15,14	-0,09	-0,30	ns
Areia <sup>2</sup>	313,54	309,23	235,55	427,85	42,79	13,65	0,31	-0,37	ns

1- Profundidade de 0-0,20 m; 2- Profundidade de 0,20-0,40 m; Areia, Silte e Argila em g kg<sup>-1</sup>; s – desvio padrão; CV % - coeficiente de variação; Cs – coeficiente de simetria; Ck – coeficiente de curtose; ns - distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5 % de probabilidade.

**Figura 2.** Identificação das classes texturais de amostras de solo pelo triângulo textural nas duas profundidades estudadas.

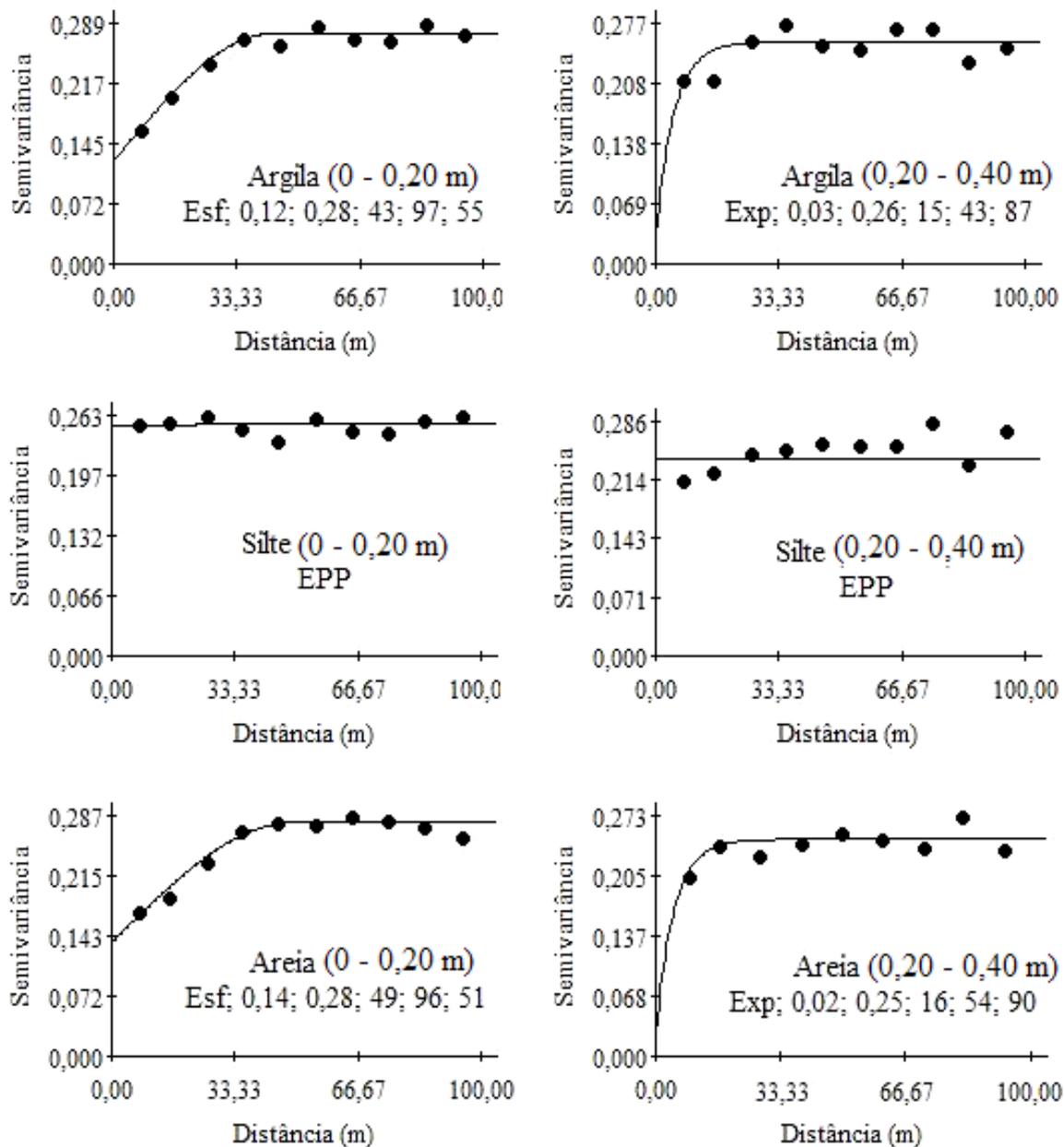


et al. (2007), constando que, de forma geral, com exceção do silte, as frações granulométricas não variam aleatoriamente, mas seguem padrões espaciais bem definidos.

Na faixa de 0 - 0,20 m de profundidade, o modelo que melhor se ajustou aos teores de argila e areia foi o esférico, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 95 %. Na faixa de 0,2 - 0,40 m de profundidade, o modelo que melhor se ajustou aos teores de argila e areia foi o exponencial com  $R^2$  de 43 e 54 %, respectivamente. O silte apresentou

ausência de dependência espacial, ajustando-se ao modelo efeito pepita puro (EPP).

Argila e areia apresentaram o mesmo padrão espacial dentro das profundidades estudadas, justificado pelo mesmo modelo de ajuste do semivariograma e pelos alcances muito próximos. A argila e a areia, na faixa de 0 - 0,20 m, apresentaram alcances maiores em relação à faixa de 0,2 - 0,40 m, indicando maior continuidade espacial provocado pelo maior intemperismo na camada superficial. Gonçalves e Folegatti (2002) afirmam que é comum



**Figura 3.** Modelos e parâmetros dos semivariogramas indicativos ( $C_0$ ;  $C_0+C$ ;  $a$ ;  $R^2$ ; IDE) para as variáveis argila, silte e areia nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

a obtenção de valores elevados de alcance para argila e areia, principalmente pela influência do escoamento superficial, que tende a promover um rearranjo na distribuição dessas frações.

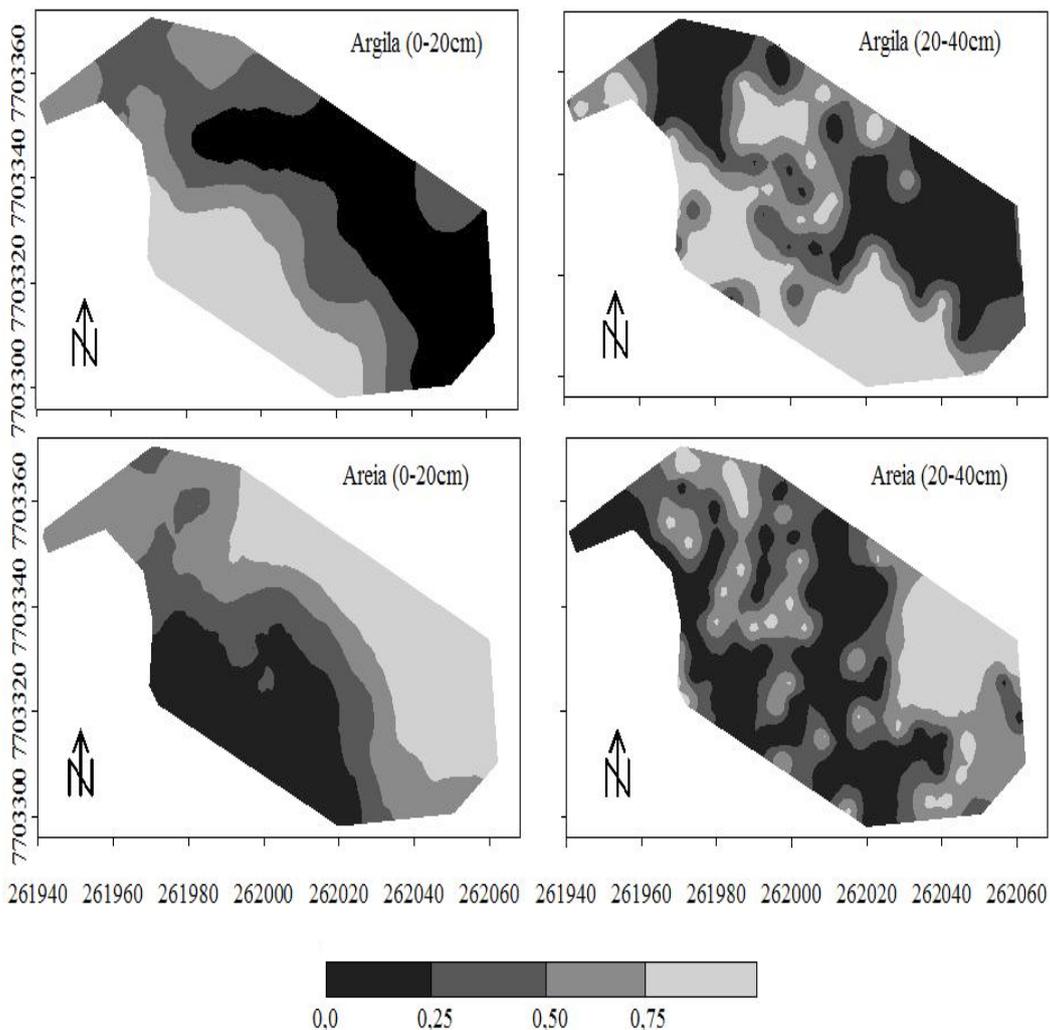
O IDE, segundo classificação proposta por Zimback (2001), foi alto para as frações granulométricas na faixa de 0,2 – 0,40 m e médio na faixa de 0 – 0,20 m. Araújo (2002) e Barbieri *et al.* (2002) encontraram variabilidade baixa para essas mesmas frações, enquanto que Gonçalves e Folegatti (2002) e Roque *et al.* (2002), trabalhando com a textura do solo, encontraram variabilidade média para as mesmas.

Na Figura 4 mostram-se os resultados da aplicação da krigagem por indicação para argila e areia nas duas profundidades. Os mapas apresentam as áreas e as probabilidades de ocorrência de

concentrações de argila e areia maiores que o valor médio.

Observa-se que na faixa de 0 – 0,20 m de profundidade, a probabilidade de se encontrar valores de argila superiores à média é maior (0,75 – 1) nas porções mais altas da área, contrastando com os valores de areia, onde essa probabilidade é maior em locais mais baixos. Isso se dá, em razão do comportamento inverso de distribuição dessas frações. Os mapas referentes à faixa de 0 - 0,20 m evidenciam, ainda, a maior continuidade espacial das frações nessa profundidade, com maior variabilidade no sentido da declividade.

Na faixa de 0,20 – 0,40 m de profundidade, onde a variabilidade é maior, a probabilidade de se obter valores de argila superiores à média é, igualmente à camada mais superficial, superior nas porções



**Figura 4.** Mapas de krigagem indicativa para argila e areia, nas faixas de 0 – 0,20 m e 0,2 - 0,40 m de profundidade.

mais altas da área, no entanto para a areia, onde a distribuição é mais heterogênea, o menor alcance do semivariograma promoveu uma distribuição mais desuniforme com distribuição por toda a área de “manchas”, onde as probabilidades de valores superiores à média variam de 0 – 75% de ocorrência. Para esta fração, nesta profundidade, apenas a faixa de probabilidade de 75 a 100% possui região bem definida, sendo esta na porção inferior direita da área, correspondendo a uma região de tamanho reduzido.

## CONCLUSÕES

- Com base nos valores médios de proporção de argila, silte e areia, o perfil do solo foi classificado como de textura argilosa.
- A probabilidade de ocorrência de valores de argila e silte, em relação à média de um modo geral, segue distribuição inversa devido ao comportamento antagônico dessas frações.
- A aplicação de técnicas de krigagem por indicação, tal como mostrado neste trabalho, justifica-se pelo fato de ser um importante instrumento de análise da probabilidade de ocorrência e distribuição dos atributos do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A.V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo** (Tese) 80 f. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

BARBIERI, D.M.; SOUZA, Z.M.; VIEIRA, J.C.; MARQUES JUNIOR, J.; CORÁ, J.E. E PEREIRA, G.T. Dependência espacial de atributos granulométricos em um Latossolo Vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar na Região de Jaboticabal (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. **Anais...** Cuiabá, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.

Demattê, J.L.I. **Levantamento detalhado**

**dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 119p.

EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

GONÇALVES, A.C.A. & FOLEGATTI, M.V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo para fins de manejo de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 22, p. 296-303, 2002

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KITAMURA, A.E.; CARVALHO, M.P.; LIMA, C.G.R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 361-369, 2007.

KUZYAKOVA, I.F.; ROMANENKOV, V.A. & KUZYAKOV, Ya.V. Geostatistics in soil agrochemical studies. **European Soil Science**, 34, p. 1011-1017, 2001.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. DGA, IGCE, UNESP / Rio Claro, Lab. Geomatématica, **Texto Didático 06**, 19 p. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 23 mai. 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econony Geology**, v. 46, p.1246-1266, 1963.

ROQUE, C.G.; CENTURION, J.F.; PEREIRA, G.T. & BEUTLER, N. Variabilidade espacial de atributos físicos em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com seringueira. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO

DO SOLO E DA ÁGUA, 14p., Cuiabá, 2002.  
**Anais...** Cuiabá, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5 ed. Viçosa-MG, 2005, 92p.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, 1-75, 1983.

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.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, v.97, p.149-163, 2000.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. (Tese). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2001.