

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS DIAGNÓSTICOS PARA DELIMITAÇÃO DE CLASSES DE SOLOS

Alessandra Fagioli da SILVA¹, Radames Juliano HALMEMAN² e Célia Regina Lopes ZIMBACK³

(1) Doutoranda em Agronomia (Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Rua Wantuil Goulart Barbosa, 361, Loteamento Barbosa, 68.360-000, Bandeirantes, PR. Endereço eletrônico: alefagioli@hotmail.com;

(2) Doutorando em Agronomia (Energia na Agricultura), FCA/UNESP, C. P. 271, CEP 87301-006, Campo Mourão, PR. Endereço eletrônico: radames@utfpr.edu.br.

(3) Profa. Dra. do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, FCA / UNESP, C.P. 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Endereço eletrônico: czimback@fca.unesp.br.

Introdução
Material e Métodos
Resultados e Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO - Os solos são classificados por seus horizontes e atributos diagnósticos para que possam ser agrupados por semelhanças e fornecer informações relativas a sua utilização. Conhecer a variabilidade espacial dos atributos diagnósticos utilizados na classificação do solo é importante na definição do manejo do solo. O objetivo desse trabalho foi verificar a dependência espacial dos atributos diagnósticos na classificação de solos (índice de avermelhamento, gradiente textural e V%) e identificar os limites entre classes de solos. O índice de avermelhamento, gradiente textural e V% do solo foram determinados nos horizontes A e B de uma grade amostral de 65 pontos coletados no Horto da cidade de Mogi-Guaçu, SP. A análise da variabilidade espacial dos atributos estudados foi realizada por meio da geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem. Todos os atributos do Horto de Mogi-Guaçu apresentaram dependência espacial e foram interpolados pela krigagem ordinária para obtenção dos mapas temáticos. Com base nos mapas de índice de avermelhamento, gradiente textural e V% foi possível gerar o mapa de classes de solos. Na área de estudo houve maior ocorrência de solos Vermelho Amarelo sem migração de argila do horizonte A para o B e Distrófico.

Palavra-chave: gradiente textural, índice de avermelhamento, saturação por bases e krigagem.

ABSTRACT - Soils are classified by their horizons and diagnostics attributes that can be grouped by similarities and provide information about their use. The knowledge the spatial variability of the diagnostic attributes used in the soil classification is very important in the definition of soil management. The aim of this study was to evaluated spatial dependence of diagnostic attributes (redness index attributes, textural gradient and V%) and identify the boundaries between soils classes. The redness index, textural gradient and V% were determined in the soil horizons A and B of a grid of 65 sampling points collected in the "horto" from city of Mogi-Guaçu, SP. The analysis of spatial variability of the attributes was realized by geostatistics considering the spatial dependence in the range of sampling and interpolated by ordinary kriging to obtain the thematic maps. Based on the maps of redness index, textural gradient and V% was possible to generate the map of soil classes. The area showed high occurrence of Red-Yellow soils without clay migration to the B horizon and dystrophic.

Keyword: textural gradient, redness index, saturation and kriging.

INTRODUÇÃO

O conhecimento detalhado sobre a classificação dos solos e seus atributos diagnósticos fundamenta as decisões e possibilita melhores probabilidades de acerto quanto ao manejo mais adequado. No entanto, a contínua atividade geomorfológica contribui para a existência de diferentes classes pedológicas, algumas vezes variando em pequenas distâncias (Novaes Filho et al., 2007). O uso de métodos com menor complexidade e que conduza a resultados próximos à realidade contribuem para a aplicação dos conhecimentos científicos adquiridos.

Os levantamentos de solos constituem um inventário das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos, bem como apresentam a classificação taxonômica e interpretativa e a distribuição geográfica dos mesmos na área abrangida pelo estudo, e a distribuição geográfica dos solos é representada em mapas (Dalmolin et al., 2004).

A cor é um dos principais e mais usados atributos para caracterizar e diferenciar solos, principalmente por sua fácil e direta visualização (Fernandes et al., 2004). Esta propriedade é referência obrigatória em qualquer descrição de perfil e estudo de solos desde o advento da pedologia, sendo comum a utilização de termos referentes a cores em vários sistemas de classificação de solos (Barrón et al., 2000). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), a cor exerce papel fundamental na subdivisão dos Latossolos e de outras classes de solos.

Segundo McBratney et al. (2003), a principal razão para falta de dados espaciais de solos é que os métodos convencionais de levantamento são lentos e caros. O conhecimento da variabilidade espacial do teor de argila, cor do solo e saturação por bases, que são atributos diagnósticos utilizados na classificação do solo, são maneiras de conhecer, de forma simplificada, a classificação dos solos e seus atributos diagnósticos.

Estudar a variabilidade espacial de atributos do solo é importante para a orientação de amostragens e interpretação dos resultados e para o levantamento e a classificação de solos (Novaes Filho et al., 2007). Assim, a geoestatística permite verificar a dependência espacial dos atributos do solo estudados e estimar valores em locais não amostrados.

A metodologia geoestatística que tem sido extensamente aplicada (Zhu & Shao, 2008; Brocca et al., 2007; Cichota et al., 2006; Hébrard et al., 2006; Souza et al., 2004; 2005; Western et al., 2004) e, por meio dela é possível conhecer a continuidade de uma variável de interesse, em toda uma área de estudo demonstrando a variação espacial da variável através de mapas de variabilidade. Segundo Lemos Filho et al. (2008), a geoestatística possibilita a construção de mapas temáticos que permitem analisar a variável em estudo.

O objetivo desse trabalho foi verificar a dependência espacial dos atributos diagnósticos na classificação de solos (índice de avermelhamento, gradiente textural e V%) e identificar os limites entre classes de solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O Horto de Mogi-Guaçu encontra-se localizado no município de Mogi-Guaçu, na região setentrional do Estado de São Paulo, as coordenadas geográficas da sede do município são: 22° 22'S e 46° 57' WGr (IBGE, 1972).

O relevo da área é plano com trechos dissecados com interflúvios convexos. As altitudes variam entre 550 a 700 m. Os solos do Horto Mogi-Guaçu estão assentados sobre material da Formação Aquidauana, depósitos alivionares do Quaternário, Formação Rio Claro e depósitos correlatos.

De acordo com a classificação de Köppen (Brasil, 1960), o clima da área estudada enquadra-se no tipo Cwa: clima mesotérmico, com inverno seco, no qual a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. O índice pluviométrico varia de 1100 a 1700 mm, tendo uma estação seca ocorrendo entre os meses de abril a setembro, sendo julho o mês mais seco.

A grade amostral é composta de 65 pontos (Figura 1), sendo 29 trincheiras e 36 tradagens. Coletou-se amostras nos horizontes A e B de

solo para análise em laboratório. As descrições morfológicas foram efetuadas de acordo com

Santos et al. (2005).

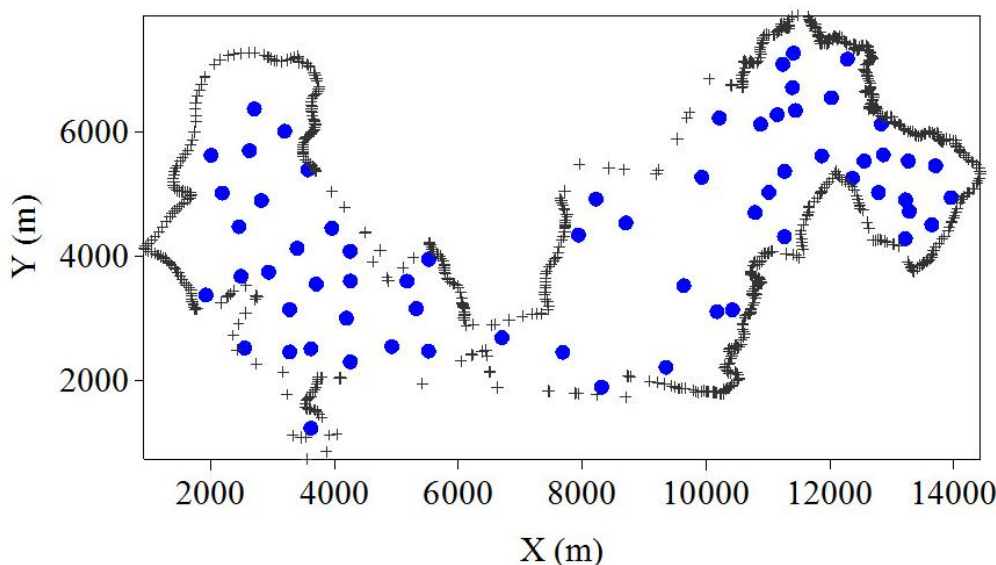


Figura 1. Malha amostral dos atributos do solo do Horto de Mogi-Guaçu.

A partir da avaliação dos três componentes da cor (matiz, croma e valor), foi calculado o índice de avermelhamento (RR) do horizonte B, dado pela seguinte equação (Torrent & Barrón, 1993):

$$RR = \frac{(10 - H) \times C}{V}$$

em que V e C são valores numéricos do valor e croma da carta de Munsell, respectivamente, e H é o número do matiz da carta de Munsell que precede as letras YR, de forma que, para 10YR, H é 10, e para 10R, H é 0.

A análise física (composição granulométrica) foi realizada de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 1997). A partir da composição granulométrica, foi obtida a variável denominada gradiente textural, que é calculada pela divisão do teor médio de argila do horizonte B pelo teor médio do horizonte A (B/A).

As análises químicas (hidrogênio + alumínio, alumínio, fósforo, cálcio, magnésio e

potássio) foram executadas segundo metodologia descrita em Raj et al. (2001).

A análise da variabilidade espacial dos atributos estudados foi realizada por meio da geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem. A dependência espacial foi realizada por meio de variogramas ajustados com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca. O variograma é estimado a seguinte expressão (Journel & Huijbregts, 1978):

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

em que $\gamma(h)$ é o variograma estimado, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor distância h . Após ajustados os modelos de variogramas, foi utilizado a krigagem ordinária para interpolação de mapas temáticos que expressam a distribuição espacial dos atributos estudados.

Com base nos mapas temáticos dos três atributos estudados realizou-se uma sobreposição das informações, gerando um único mapa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos do solo índice de avermelhamento, gradiente textural e saturação por bases (V%) do Horto de Mogi-Guaçu

apresentaram estrutura espacial (Tabela 1 e Figura 2). O modelo esférico foi usado para ajuste de todos os atributos do solo, exceto a

saturação por bases (V%) que se ajustou ao modelo gaussiano.

Tabela 1. Modelo e parâmetros dos variogramas dos atributos do solo do Horto de Mogi-Guaçu

Atributo	Modelo	Alcance	C ₀	C ₀ +C	IDE
Índice de Avermelhamento	Esférico	1900,00	10,13	31,33	67
Gradiente Textural	Esférico	950,00	0,00010	0,1122	99
V%	Guassiano	975,14	32,70	238,80	86

V%: saturação por bases (%); alcance (m); C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; IDE: índice de dependência espacial (%)

Conforme Zimback (2001), os atributos do solo apresentaram alta dependência espacial (IDE > 75%), exceto o índice de

avermelhamento que apresentou moderada dependência espacial (25% < IDE ≤ 75%).

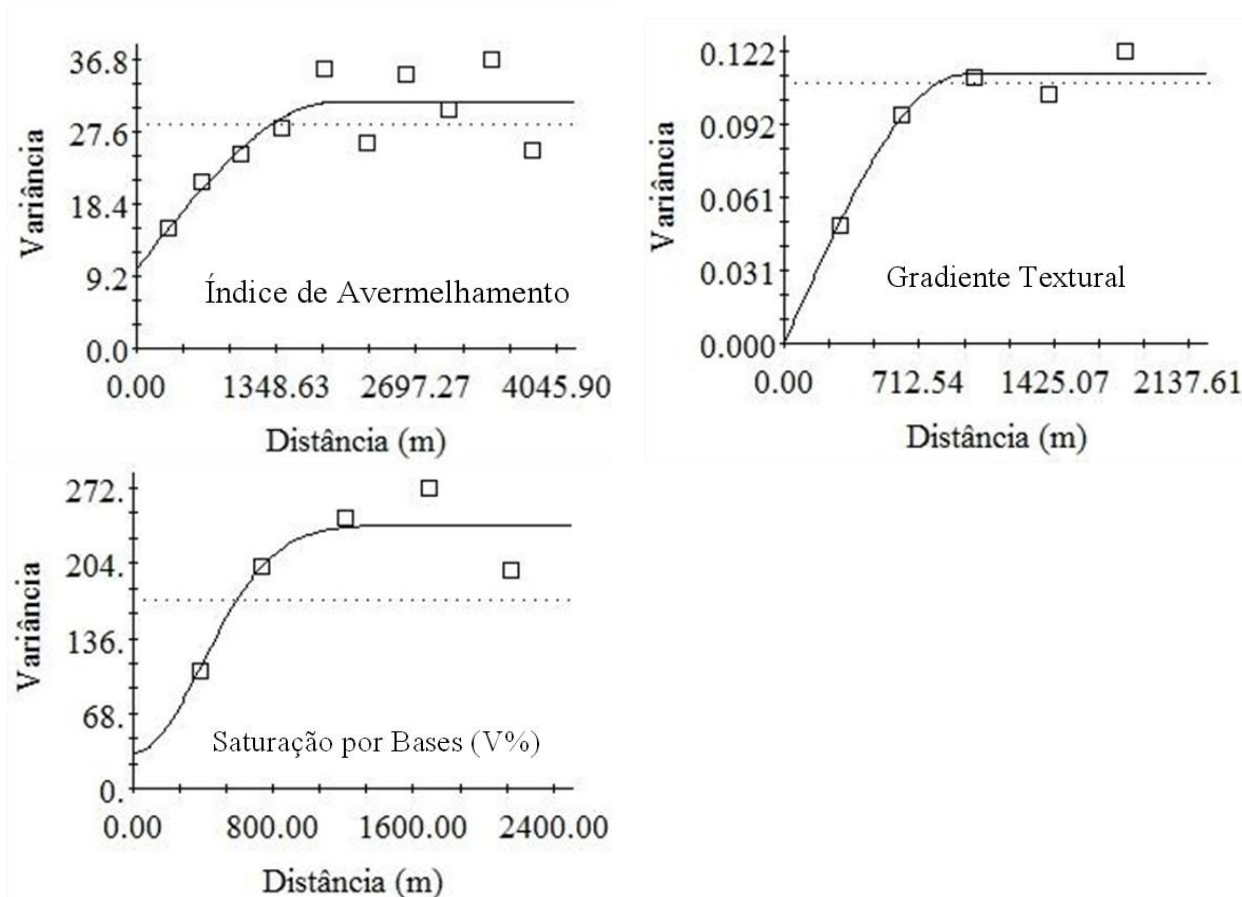


Figura 2. Variogramas dos atributos do solo do Horto de Mogi-Guaçu.

O índice de avermelhamento apresentou o maior valor de alcance (1900,00 m) e os demais atributos do solo apresentaram valores de alcance próximos, com isso, os mapas interpolados por krigagem do gradiente textural e do V% apresentaram comportamento semelhante (Figuras 3).

O índice de avermelhamento, embora tenha apresentado maior alcance, o mapa da krigagem deste atributo apresenta maior variação dos

valores que os mapas dos demais atributos. Já o mapa do gradiente textural e saturação por bases (V%) apresenta maiores teores agrupados em algumas regiões da área.

Os maiores e menores teores dos atributos do solo ocorrem em regiões diferentes da área, mostrando que o material originário fornece teores diferentes dos atributos nas diferentes regiões do Horto de Mogi-Guaçu.

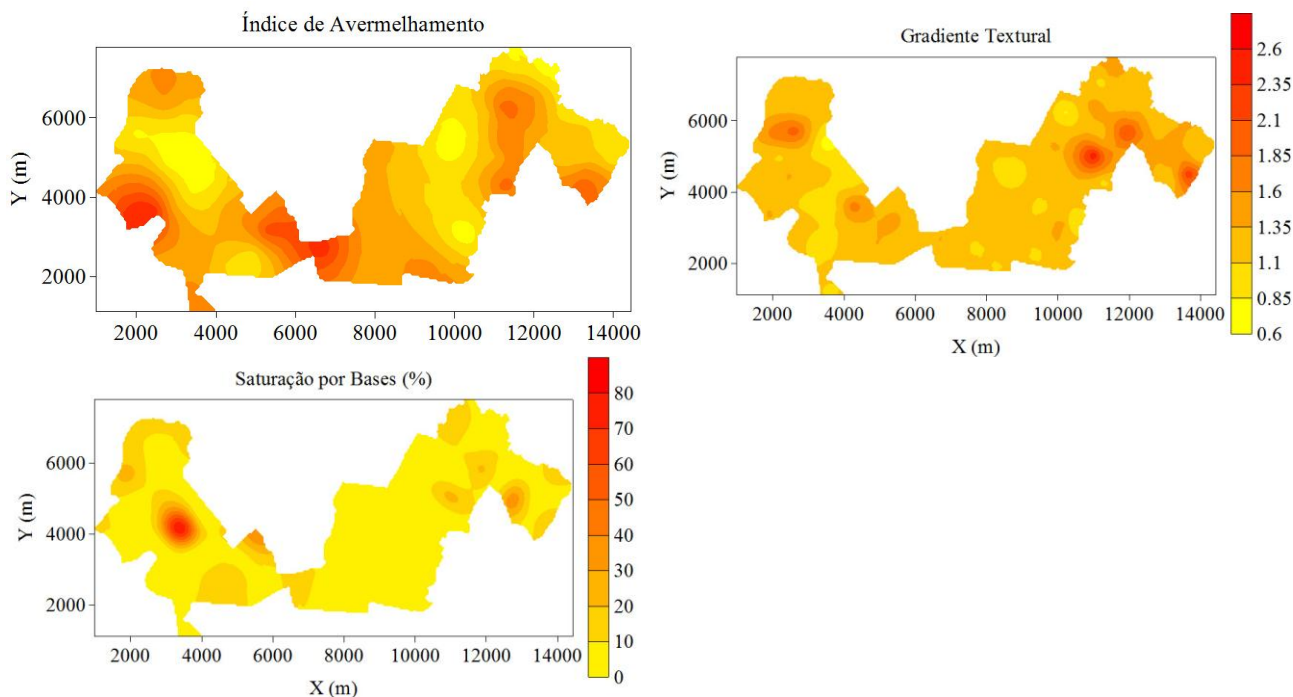


Figura 3. Mapas dos atributos do solo do Horto de Mogi-Guaçu.

O mapa da distribuição espacial do índice de avermelhamento (Figura 3) complementou as informações pedológicas relativas à cor do solo. Esse atributo é um importante indicador da composição e da gênese do solo, por estar relacionado ao óxido de ferro e matéria orgânica. Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006), para a separação das classes em seu segundo nível categórico é utilizado o atributo de cor do solo.

Com base nos critérios de cor recomendados pelo SiBCS, o índice avermelhado do horizonte B do solo foi classificado como: $RR < 5$, solos amarelos; $5 \leq RR < 9$, solos vermelho-amarelos; e $RR \geq 9$, solos vermelhos.

Por meio do mapa do gradiente textural (Figura 3) foram identificadas áreas onde a relação textural (B/A) foi superior a 1,7 estabelecendo assim um limite entre possíveis horizontes diagnósticos Bt e Bw ($B/A > 1,7 \rightarrow Bt$; $B/A < 1,7 \rightarrow Bw$).

Segundo o SiBCS (Embrapa, 2006), a expressão alta saturação aplica-se a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% (Eutrófico) e baixa saturação para valores inferiores a 50% (Distrófico). Deste modo, no mapa da distribuição espacial para saturação por bases (V%) foram definidas as zonas de alta e baixa saturação.

Realizou-se identificação das classes pedológicas do Horto de Mogi-Guaçu com a sobreposição dos mapas de krigagem dos atributos do solo (Figura 4). O primeiro atributo (índice de avermelhamento) propiciou a distinção de três cores de solos, auxiliando a separação das classes no segundo nível categórico dos solos, de acordo com o SiBCS. O segundo atributo utilizado (gradiente textural) promoveu a distinção dos solos com ou sem processos de migração de argila para o subsolo, indicando os processos pedogenéticos de podzolização ou latolização. O terceiro atributo considerado distinguiu as áreas com alta e baixa saturação por bases (V%).

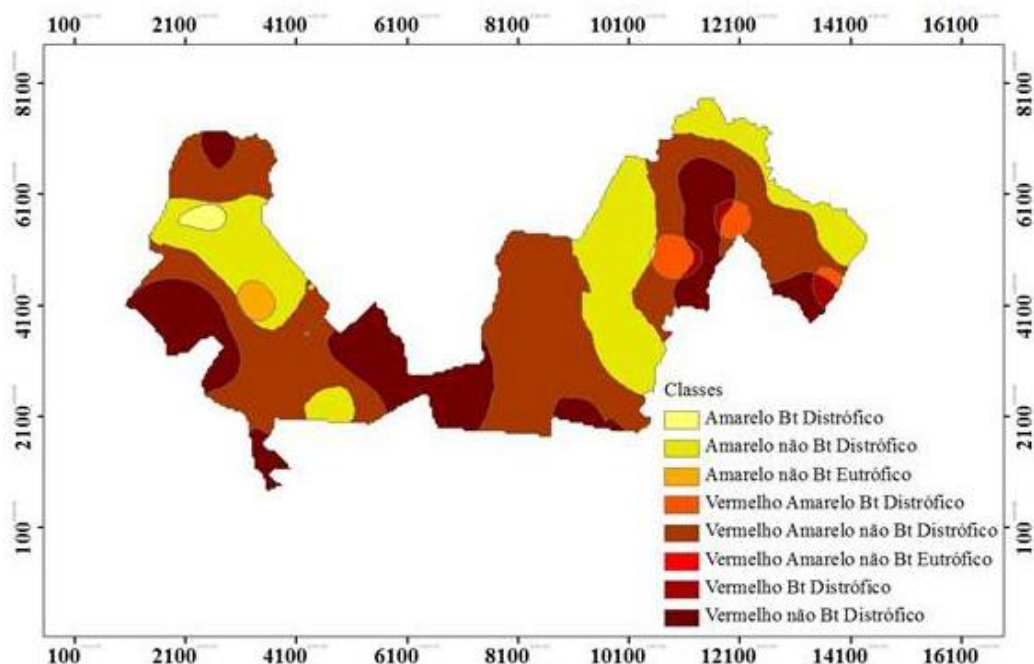


Figura 4. Mapa da sobreposição dos mapas de índice de avermelhamento, gradiente textural e saturação por bases.

Observa-se (Figura 4) que no Horto de Mogi-Guaçu houve maior ocorrência de solos Vermelho-Amarelo que não apresentam

migração de argila do horizonte A para o B e Distrófico (V%).

CONCLUSÕES

Todos os atributos do Horto de Mogi-Guaçu apresentaram dependência espacial e foram interpolados pela krigagem ordinária para obtenção mapas temáticos.

Com base nos mapas de índice de avermelhamento, gradiente textural e V% foi possível gerar o mapa de classes de solos.

Na área de estudo houve maior ocorrência de solos Vermelho Amarelo sem migração de argila do horizonte A para o B e Distrófico.

AGRADECIMENTOS

Ao GEPAG – Grupo de Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, FCA/UNESP Botucatu, pelo apoio e infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRÓN, V.; MELLO, J.W.V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de Reflectância Difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.139-162.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônomicas. Comissão de solos. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos**

- do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, SNPA, 1960. 634 p.
3. BROCCA, L.; MORBIDELLI, R.; MELONE, F.; MORAMARCO, T. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology**, v.333, n.1, p.356-373, 2007.
 4. CICHOTA, R.; HURTADO, A. L. B.; LIER, Q. J. VAN. Spatio-temporal variability of soil water tension in a tropical soil in Brazil. **Geoderma**, v.133, n.8, p.231-243, 2006.
 5. DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.34, n. 5, 2004
 6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
 7. EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
 8. FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.
 9. HÉBRARD, O.; VOLTZ, M.; ANDRIEUX, P.; MOUSSA, R. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v.329, p.110-121, 2006.
 10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geodésia e Cartografia – **Carta do Brasil – Quadrícula de Mogi-Guaçu**. Escala 1:50.000, 1972
 11. ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.
 12. JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, Ch.J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.
 13. KUZYAKOVA, I.F.; ROMANENKOV, V.A.; KUZYAKOV, Ya.V. Geostatistics in soil agrochemical studies. **Eur. Soil Sci.**, 34:1011-1017, 2001.
 14. LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 02, p. 193-202, 2008.
 15. McBRATNEY, A.B.; SANTOS, M.L.M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, 117:3-52, 2003.
 16. NOVAES FILHO, J. P.; COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. A.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 91-100, 2007.
 17. RAIJ, B. van, ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 285 p.
 18. 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**. 5ª ed. revista e ampliada Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de solo, 2005.
 19. SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.309-319, 2004.
 20. SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.

Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.105-114, 2005.

21. TORRENT, J. & BARRÒN, V. **Laboratory measurement of soil color: theory and practice**. In: Soil Color. Madison, SSSA, 1993. p.21-33. (SSSA, Special Publication, 31)

22. WESTERN, A. W.; ZHOU, S. L.; GRAYSON, R. B.; MCMAHON, T. A.; BLÖSCHL, G.; WILSON, D. J. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v.286, p.113-114, 2004.

23. ZHU, Y. & SHAO, M. Variability and pattern of surface moisture on a small-scale hillslope in Liudaogou catchment on the northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, v.147, p.185-191, 2008.

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

*Manuscrito recebido em: 01 de fevereiro de 2012
Revisado e Aceito em: 09 de maio de 2013*