

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO USADA NA IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES PEDOLÓGICAS DE MICROBACIAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL⁽¹⁾

João Paulo Novaes Filho⁽²⁾, Eduardo Guimarães Couto⁽³⁾, Virlei Alvaro de Oliveira⁽⁴⁾,
Mark S. Johnson⁽⁵⁾, Johannes Lehmann⁽⁶⁾ & Susan S. Riha⁽⁷⁾

RESUMO

A região noroeste do Estado de Mato Grosso compreende paisagens de grande complexidade para amostragem de solo. Isso ocorre devido à contínua atividade geomorfológica, que contribuiu para a existência de diferentes classes pedológicas em pequenas distâncias. O trabalho foi desenvolvido em Juruena (MT), com o objetivo de identificar as classes pedológicas em microbacias sob floresta não-perturbada, por meio do estudo da variabilidade espacial da textura (relação textural) e cor (índice de avermelhamento) do solo, considerando-se ainda a altitude da paisagem. A variabilidade espacial da textura e da cor do solo foi determinada em amostras de 185 pontos georreferenciados em malha sistemática regular com espaçamento de 20 x 20 m, abrangendo quatro microbacias. Usando profundidades de 0–20 e 40–60 cm, foi possível distinguir e mapear as principais classes de solo ocorrentes na área de estudo até o segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, associadas ao fator relevo da paisagem. Também foi estabelecida uma correspondência bastante satisfatória entre os intervalos do índice de avermelhamento do horizonte diagnóstico e as cores das classes de solo. As microbacias apresentaram as classes Plintossolos e Argissolos (com caráter plíntico) em altitudes inferiores a 280 m e Latossolos nas cotas superiores. Dessa

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Recebido para publicação em outubro de 2005 e aprovado em novembro de 2006.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Pesquisador do Departamento de Solos e Extensão Rural, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Rua Bérnago 81, Jardim Itália, CEP Cuiabá (MT). E-mail: jpnovaes@terra.com.br

⁽³⁾ Professor Doutor do Departamento de Solos e Extensão Rural, UFMT. E-mail: couto@ufmt.br

⁽⁴⁾ Equipe de Pedologia da Fundação IBGE (GO) e Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia (GO). E-mail: virlei@ibge.gov.br

⁽⁵⁾ Pesquisador do projeto LBA, Cornell University, USA. E-mail: msj8@cornell.edu

⁽⁶⁾ Professor Doutor, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, USA. E-mail: cl273@cornell.edu

⁽⁷⁾ Professora Doutora, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, USA. E-mail: sjr4@cornell.edu

forma, ficou evidenciada a possibilidade do uso da geoestatística para separar classes homogêneas de solo, além de estimar a precisão de mapeamento. Contudo, são indispensáveis o conhecimento pedológico e o trabalho posterior de campo para a aplicação e o ajuste dessa modelagem.

Termos de indexação: geoestatística, krigagem, cor, índice de avermelhamento, textura, paisagem.

SUMMARY: *SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES USED FOR SOIL MAPPING IN SMALL HEADWATER CATCHMENTS OF THE SOUTHERN AMAZON*

The northwestern region of Mato Grosso State consists of complex landscapes due to ongoing geomorphologic activity that contributes to the occurrence of different soil classes over small distances, which complicates soil sampling strategies. This study was conducted in Juruena (MT), with the objective of identifying pedologic classes in undisturbed forested headwater catchments by examining the spatial variability of soil texture and color, and taking elevation and topographic position into consideration. The spatial variability of soil texture and color were determined for 185 georeferenced sample points from a 20 x 20 m grid over the four headwater catchments. By sampling each location at depths of 0–20 and 40–60 cm it was possible to distinguish and map the principle soil classes found in the study area to the 2nd category level of the Brazilian System of Soil Classification, associated with the topographic relief. A satisfactory relationship between the redness index of the diagnostic horizons and the soil class colors was also found. The small headwater catchments contained the soil classes Plintossolos and Argissolos (of plinthic character) at altitudes below 280 m, and Latossolos at higher elevations. In this way, the use of geostatistics to map soil classes proved effective, as well as to estimate the precision of the resulting maps. Nevertheless, pedologic knowledge and a follow-up field validation of the resulting maps are necessary for an application as well as adjustments to the geostatistical models.

Index terms: geostatistics, kriging, soil color, redness index, soil texture, landscape position.

INTRODUÇÃO

A falta de conhecimento detalhado sobre os solos amazônicos, sem dúvida, abre uma gama de possibilidades de pesquisa visando buscar alternativas para suprir ou amenizar essa deficiência, principalmente porque as florestas tropicais estão sendo rapidamente substituídas por sistemas agropecuários, sem o devido fundamento científico.

Localizada na região sul da Bacia Amazônica, a área escolhida para estudo é caracterizada como uma paisagem de considerável diversidade pedológica. Por isso, apesar da sua aparente homogeneidade quanto às características visíveis na paisagem, como relevo, cor e vegetação, nem sempre é possível diferenciar claramente estratos homogêneos. Essa região dispõe de informações pedológicas apenas em nível de levantamentos exploratório ou de reconhecimento, como os produzidos pelo Projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1980) em escala 1:1.000.000, pelo Diagnóstico Sócio-Econômico Ecológico do Estado de Mato Grosso (SEPLAN, 2001) em escala 1:250.000 e, mais

recentemente, por Couto & Oliveira (2003) em escala 1:100.000. Devido à pequena escala desses trabalhos, a sua utilização em planejamentos mais específicos, de caráter executivo, como em pequenas bacias hidrográficas e propriedades rurais, fica bastante restrita por não oferecer informações pedológicas suficientemente detalhadas. A razão principal para essa falta de dados espaciais de solos é que os métodos convencionais de levantamento são lentos e caros (McBratney et al., 2003), particularmente os elaborados em níveis de maior detalhamento, além da maior dificuldade de elaboração, quando se trata de áreas da região amazônica ainda cobertas com a vegetação natural de floresta.

Genericamente, a borda meridional da Bacia Amazônica possui base cristalina com rochas sedimentares muito antigas, além de gnaisses e xistos. As principais classes de solos ocorrentes nessas áreas são Latossolos e Argissolos (Couto & Oliveira, 2003), que correspondem aproximadamente às classes Ferralsols e Acrisols (FAO, 1988) e Oxisols e Ultisols (Sombroek, 1984; Batjes & Dijkshoorn, 1999; Soil Survey Staff, 1999).

Nas paisagens naturais, os solos apresentam heterogeneidade tanto no sentido vertical (profundidade) como no plano horizontal (Reichardt et al., 1986), resultante das interações dos seus fatores de formação, dados por: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo (Jenny, 1941). Assim, os solos variam continuamente no espaço, razão pela qual as unidades homogêneas indicadas em mapas apresentam certo grau de variabilidade, mesmo dentro de uma determinada classe pedológica (Wilding & Drees, 1983). 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; Kuzyakova et al., 2001).

Basicamente, a razão de um mapeamento de solos é delinear unidades que contenham condições menos variáveis do que a população de solos como um todo. O seu grande desafio é a representação de uma região de tal modo que cada classe seja suficientemente homogênea de acordo com o perfil representativo descrito. Na prática, o objetivo pode ser alcançado com a organização de classes de solos, em que a combinação do perfil e seu arranjo espacial sejam considerados (McBratney & Webster, 1981).

O estudo da variabilidade espacial de atributos do solo tem grande importância não só na orientação de amostragens e interpretação dos resultados, mas também no levantamento e na classificação de solos. Dessa forma, a utilização de ferramentas geoestatísticas possibilita avaliar a dependência espacial dos atributos estudados e a consequente estimação de valores em lugares não medidos (Isaaks & Srivastava, 1989; McBratney et al., 1992; Camargo, 1998; Goovaerts, 1999; Castrignanò et al., 2000; Vieira, 2000). Essa nova concepção em mapeamentos adiciona aos tradicionais fatores de formação do solo, descritos por Jenny (1941), o fator localização geográfica (McBratney et al., 2003).

Com o advento da informática e de novas técnicas em geoprocessamento, a aplicação da geoestatística em mapeamento digital de solos traz enorme contribuição, principalmente para locais não contemplados com levantamentos detalhados. O objetivo deste trabalho foi elaborar um modelo para prever a distribuição das classes pedológicas em escala de microbacias, por meio do estudo da dependência espacial de alguns atributos de solos, de fácil e rápida determinação, como textura (relação textural) e cor (índice de avermelhamento). Mais precisamente, pretendeu-se verificar a possibilidade de identificar e delimitar, por métodos geoestatísticos de semivariograma e krigagem ordinária, limites entre classes de solos que apresentaram características homogêneas conforme os perfis descritos.

MATERIAL E MÉTODOS

O meio físico

A pesquisa foi realizada na Fazenda Rohsamar, localizada no município de Juruena, noroeste de Mato Grosso (latitude 10° 28' 35" S e longitude 58° 28' 10" WGr.). Essa região integra a parte meridional da grande Bacia Amazônica, sendo a área experimental constituída por quatro microbacias sob vegetação de floresta não-perturbada, com dimensões respectivas de: microbacia 1 = 1,12 ha; microbacia 2 = 1,90 ha; microbacia 3 = 1,09 ha; e microbacia 4 = 1,05 ha (Figura 1). A cobertura vegetal existente na região é classificada como Floresta Ombrófila Densa de formação submontana (IBGE, 1990).

O clima regional, segundo classificação de Köppen, é do tipo quente e úmido (Am), com temperatura média anual de 24 °C e precipitação pluvial média anual de 2.200 mm, distribuída com maior intensidade nos meses de novembro a abril (Brasil, 1980; SEPLAN, 2001). O regime de umidade do solo é caracterizado como ústico, pois compreende um período seco de mais de 90 dias (Van Wambeke, 2002).

A geologia é composta pela unidade denominada Complexo Xingu, bastante antiga, datada do Pré-Cambriano, com a sua litologia predominante formada por gnaisses e granitos. A formação geomorfológica pertence à Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, com relevo suave ondulado na maior parte da região e altitude em torno de 260 m (Brasil, 1980; SEPLAN, 2001).

Os solos predominantes na região de Juruena (MT) pertencem às classes Argissolos e Latossolos (SEPLAN, 2001), com grandes variações nos atributos cor e textura. Especificamente para o local estudado, segundo o levantamento pedológico realizado por Couto & Oliveira (2003) e apresentado na escala 1:100.000, as microbacias estão inseridas na unidade de mapeamento PVd, que se trata de uma associação cujo principal solo é o Argissolo Vermelho distrófico plíntico, tendo como inclusões Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico plíntico.

Sistema de amostragem, atributos estudados e métodos de determinação

As quatro microbacias selecionadas foram demarcadas com estacas identificadas, formando um conjunto de 185 pontos em malha regular com espaçamento de 20 x 20 m (Figura 1). O número de pontos amostrais ficou distribuído da seguinte forma: microbacia 1 = 43; microbacia 2 = 65; microbacia 3 = 39; e microbacia 4 = 38. Esses locais demarcados foram georreferenciados (coordenadas planas UTM) e as cotas determinadas por meio de levantamento altimétrico com nível óptico (referencial de altitude tomado com altímetro barométrico). Em seguida, a coleta de amostras foi realizada com a utilização de

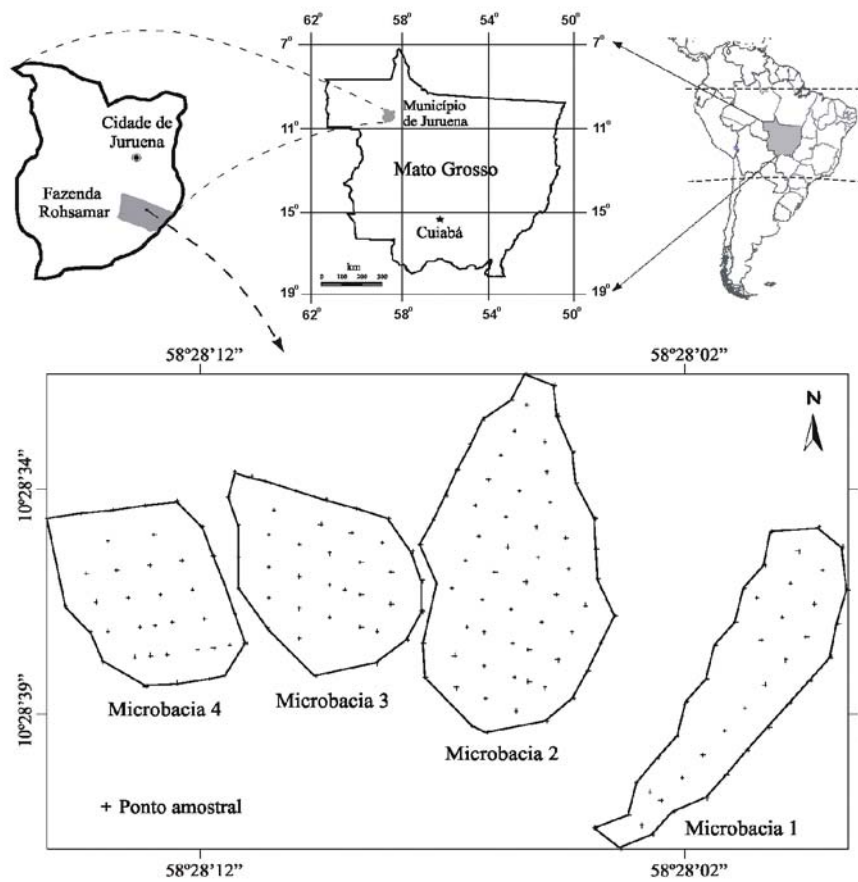


Figura 1. Localização das microbasias e distribuição dos pontos amostrados.

trado holandês em cada ponto da malha, nas profundidades de 0–20 cm, representando o horizonte superficial A, e 40–60 cm, o topo do horizonte B (diagnóstico). Na primeira profundidade, foram coletadas amostras compostas, cada uma obtida pela mistura de cinco subamostras dentro do raio de 1 m do ponto selecionado; no horizonte diagnóstico, as coletas foram de amostras simples. A descrição e coleta de solo no campo seguiram as recomendações propostas por Lemos & Santos (1996).

Os atributos determinados foram a textura das duas profundidades e a cor do horizonte B (diagnóstico). A textura foi determinada pelo método da pipeta com agitação lenta por 16 h (30 rpm), dispersa com NaOH e hexametáfosfato de sódio (Camargo et al., 1986). A partir do atributo textura, foi obtida a variável denominada relação textural (RT), que é calculada pela divisão do teor médio de argila do horizonte B pelo teor médio do horizonte A (B/A). A leitura da cor do horizonte diagnóstico foi efetuada no campo em amostras de solo úmido, empregando-se a carta de cores Munsell (Munsell Color Co., 1975). A partir da avaliação dos três componentes da cor (matiz, croma e valor), foi calculado o índice de avermelhamento (RR) do horizonte B (40–60 cm), dado pela seguinte equação (Torrent & Barrón, 1993):

$$RR = [(10-H).C]/V$$

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.

Além disso, foram determinados os atributos químicos e físicos dos perfis de trincheira para a classificação pedológica, seguindo metodologia recomendada pela Embrapa (1997).

Análises estatísticas

A variabilidade espacial dos atributos estudados foi analisada pela geoestatística, considerando-se a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. A análise da dependência espacial foi realizada por meio de semivariogramas ajustados pelo programa Gamma Design (Robertson, 2000), com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca. O semivariograma é estimado pelo algoritmo (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 semivariograma 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 .

As variáveis RT e RR foram analisadas e ajustadas a modelo esférico de semivariograma, considerando o maior R^2 (coeficiente de determinação) e o menor RSS (soma de quadrados de resíduos), para verificar a hipótese da dependência espacial. Os modelos ajustados foram submetidos ao teste de validação cruzada (*cross validation*), em que os resultados observados e estimados puderam ser comparados. Na análise da magnitude da dependência espacial desses atributos, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et al. (1994).

Após ajustados e testados os modelos de semivariograma, o passo seguinte foi a interpolação por krigagem ordinária com utilização do programa Surfer 8.0 (Surfer, 2002), o que permitiu a construção de mapas digitais que expressam a distribuição espacial dos atributos RT e RR das microbacias. Esse interpolador considera a média flutuante ou móvel por toda a área e é dado por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

em que $Z^*(x_0)$ é o valor estimado para o local (x_0) não amostrado; $z(x_i)$ é o valor obtido por amostragem no campo; N é o número de amostras vizinhas; e λ_i são os pesos aplicados em cada $z(x_i)$. A construção do estimador $Z^*(x_0)$ na krigagem ordinária não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem, mas requer que a soma dos pesos λ_i seja igual a 1.

Mapeamento pedológico

Foram produzidos mapas digitais individualizados da distribuição espacial das variáveis RT e RR, os quais

foram sobrepostos para gerar um mapa que reuniu as informações contidas em ambos. Dessa forma, foi possível obter simultaneamente em um único mapa a distribuição de áreas distintas dentro das microbacias, referentes à cor e ao acúmulo de argila em profundidade. Posteriormente, foi realizado levantamento de campo para testar a modelagem aplicada, em que foram escolhidos locais para a abertura e descrição de cinco perfis de trincheira, representativos de cada situação diferenciada, os quais foram classificados segundo o SiBCS (Embrapa, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A paisagem das microbacias apresentou cotas de altitude variando de 265 a 290 m, com maior declividade no terço inferior do terreno (Figura 2). Os valores de coeficiente de variação (CV) do teor de argila foram: 23,5 % para o horizonte A e 12,5 % para o horizonte B do solo. De acordo com o critério proposto por Wilding & Drees (1983), esses valores de CV classificam a variabilidade como moderada (15–35 %) e baixa (< 15 %), respectivamente. Ainda, segundo esses autores, é esperado que ocorra variabilidade classificada como moderada para o teor de argila dos solos, semelhante ao que foi observado no horizonte A das microbacias.

De forma geral, as relações texturais observadas nas microbacias indicaram significativo acúmulo de argila em profundidade, concordando com observações feitas por Sombroek (1984), em estudos de solos da Amazônia.

Especificamente, no caso das microbacias 1, 2 e 3, ocorreu maior diferença textural entre os horizontes A e B, em relação à microbacia 4. Nesta, houve pouco acúmulo de argila no horizonte subsuperficial em

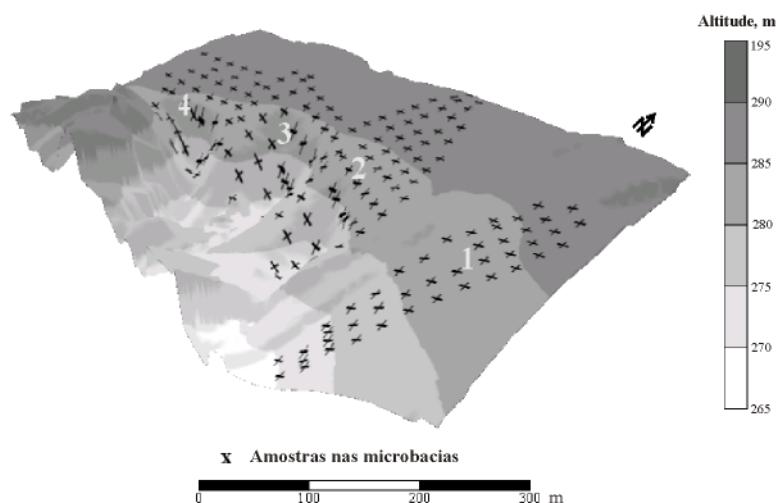


Figura 2. Modelo digital da paisagem das microbacias (3D).

relação à superfície, caracterizando maior homogeneidade textural. Contudo, apenas a estimativa da média dos teores de argila (Figura 3) não é suficiente para identificação e separação dos solos com horizontes B latossólico (Bw) e B textural (Bt).

O processamento das determinações analíticas possibilitou a obtenção da relação textural (RT) e do índice de avermelhamento (RR) dos solos de cada ponto amostrado dentro das microbacias. Entretanto, além dos valores desses atributos, o estudo da variabilidade espacial dependeu ainda da identificação dos locais de coleta, a fim de atender a um dos principais pressupostos da geoestatística.

Foi realizada a análise da dependência espacial dos atributos RT e RR, em que foram ajustados a modelos

esféricos de semivariograma e apresentaram proporções do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C + C_0$) igual a 25 % (forte dependência espacial) e 28 % (moderada dependência espacial), respectivamente (Cambardella et al., 1994). Os semivariogramas da RT e do RR apresentaram alcances (A_0) muito superiores aos do espaçamento de amostragem adotado (20 x 20 m), o que rejeitou a hipótese de aleatoriedade dos dados. Os modelos ajustados de semivariograma foram submetidos ao teste de validação cruzada (valores observados com valores estimados) e apresentaram altos coeficientes de regressão para ambos os atributos (Figura 4).

A interpolação por krigagem permitiu a construção de mapas da distribuição espacial dos atributos RT e

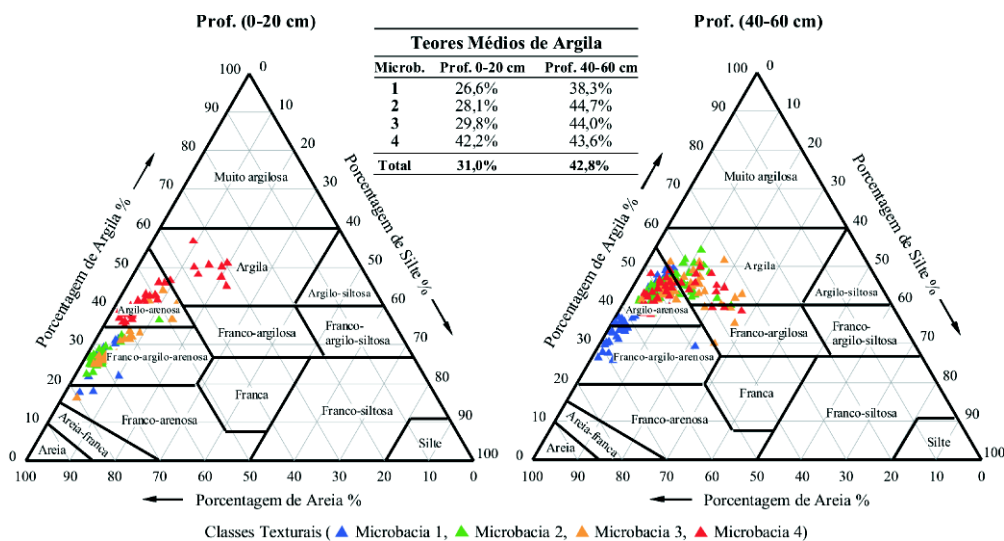


Figura 3. Classes texturais das microbacias em duas profundidades.

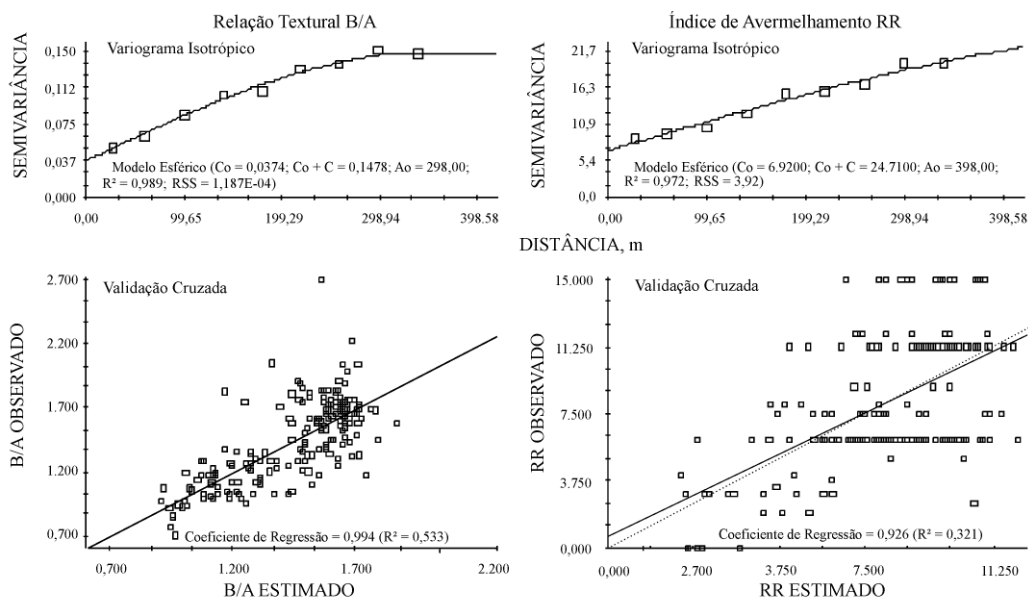


Figura 4. Modelos esféricos de semivariograma e testes de validação cruzada para os atributos relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR).

RR na área das microbacias (Figura 5). Essa estratificação delineou unidades mais homogêneas dentro de um sistema natural que possui alta variabilidade dos atributos e complexos processos de pedogênese (McBratney & Webster, 1981; Webster, 2000; McBratney et al., 2003).

Por meio do mapa da RT (Figura 5a) foram identificadas áreas onde a relação textural (B/A) foi superior a 1,7 (valor mínimo exigido para solos que têm textura média no horizonte A), estabelecendo assim um limite entre possíveis horizontes diagnósticos Bt e Bw ($B/A > 1,7 \rightarrow Bt$; $B/A < 1,7 \rightarrow Bw$). Embora no SiBCS a variável RT não seja isoladamente fator determinante para a separação desses horizontes diagnósticos, no caso específico da área em estudo, que é sabidamente constituída por Latossolos e Argissolos, ambos muito intemperizados (Couto & Oliveira, 2003) e, portanto, com grande quantidade de características diferenciais coincidentes, como: $CTC < 17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $Ki < 2,2$, ausência de minerais primários de fácil intemperização, pouca diferenciação entre horizontes, grande espessura e textura mais fina que franco-arenosa, restaria conseqüentemente a RT como fator determinante, considerando-se que apenas a combinação do tipo de estrutura e a presença de cerosidade poderia ainda ser determinante, mas apenas nos casos que apresentaram $RT < 1,7$.

A distribuição espacial do atributo RR (Figura 5b) complementa as informações pedológicas relativas à cor do solo das microbacias. Esse atributo é um importante indicador da composição e da gênese do solo, pois está relacionado a seus constituintes, principalmente óxidos de ferro e matéria orgânica. No presente caso, foi empregado para possibilitar a separação das classes em seu segundo nível categórico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), que emprega o atributo cor com essa finalidade para as classes de solos em questão (Campos, 2001).

De acordo com os critérios de cor recomendados pelo SiBCS, foi observada correspondência entre a nomenclatura da cor do horizonte diagnóstico do solo e o RR, da seguinte forma: $RR < 5$, solos amarelos; $5 \leq RR < 9$, solos vermelho-amarelos; e $RR \geq 9$, solos vermelhos.

Procedeu-se à identificação das classes pedológicas das microbacias por meio da sobreposição dos mapas elaborados (Figura 6). O primeiro atributo considerado (RT) permitiu distinguir solos com ou sem processos de migração de argila para o subsolo, indicativo da ocorrência de processos pedogenéticos de podzolização ou latolização. O segundo atributo (RR) tornou possível a distinção de três cores de solos, auxiliando a separação das classes no segundo nível categórico dos solos, de acordo com o SiBCS.

Para avaliação da exatidão e validade da modelagem aplicada, foram escolhidos locais representativos das unidades separadas, nas quais foram abertas

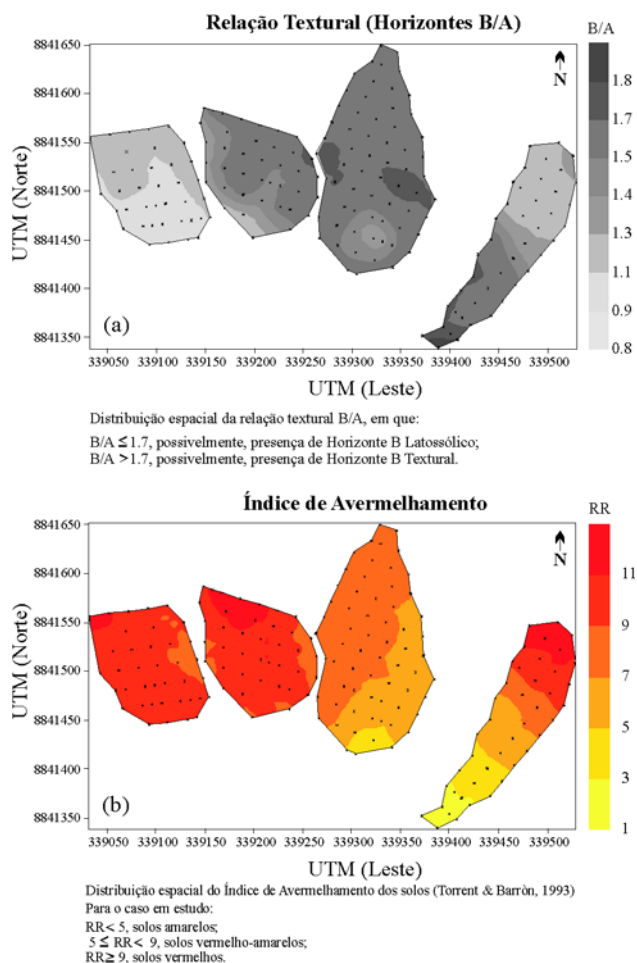


Figura 5. Mapas interpolados por krigagem ordinária, demonstrando a distribuição espacial dos atributos: (a) relação textural-B/A e (b) índice de avermelhamento-RR na profundidade de 40-60 cm.

trinchéiras para descrição e caracterização completa dos solos. Esse procedimento é recomendado por McBratney et al. (2003) para a elaboração de mapeamentos digitais de solos, quando destacam que as investigações de campo são essenciais para o ajuste dos mapas. Dessa forma, foram selecionados cinco locais para abertura de trincheiras, tomando-se como base, exclusivamente, as informações geradas pelo mapa da sobreposição dos atributos RT e RR.

Como pode ser visto na figura 7, os perfis descritos e classificados corroboraram as delimitações das classes de solos estabelecidas com base no tratamento geoestatístico, o que certamente valida o método empregado na separação de classes de solos, para essa região. Entretanto, houve pequeno ajuste no mapeamento pedológico definitivo em decorrência da classificação do perfil nº 1 como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico plúntico em local que possui migração de argila do horizonte A para o horizonte B e que, portanto, indicaria a presença de Argissolo

(caracterizado por horizonte B textural). Nesse caso, a descrição completa deste perfil demonstrou que houve migração de argila do horizonte superficial para o subsuperficial, porém não suficiente para caracterizar um B textural, devido a uma descontinuidade litológica nos dois últimos horizontes subsuperficiais.

A caracterização dos solos em trincheira possibilitou também o reconhecimento de atributos importantes, como a ocorrência de plintita e petroplintita, características de grande importância para manejo de solos em regiões tropicais. Observou-se também que, quando o valor do RR está na faixa de 3 a 5 (Figura 5b), os solos predominantes são os Plintossolos. Possivelmente, a mistura de cores dos mosqueados com o matiz do solo proporcionou um padrão de cor dentro desse intervalo de índice de avermelhamento.

O mapa de solos foi elaborado em escala aproximada de 1:4.500 (Figura 7), portanto na categoria dos levantamentos ultradetalhados, que geralmente é usada para subsidiar a exploração de áreas muito pequenas (Resende et al., 2002). Esse

mapeamento demonstrou a ocorrência de classes de solos não detectadas no Levantamento de Reconhecimento elaborado anteriormente por Couto & Oliveira (2003), como foi o caso das classes Plintossolos Pétricos e Hápticos. Esse fato é perfeitamente compreensível e se justifica pela intensificação dos trabalhos de campo, que detectaram ocorrência de solos considerados não-significativos para serem cartografados naquele nível de levantamento.

Analisando conjuntamente o relevo da paisagem e a distribuição das classes de solo nas microbacias, verificou-se que as classes Plintossolos e Argissolos (com caráter plíntico) ocorreram em cotas inferiores a 280 m de altitude, e nas cotas superiores o terreno é constituído exclusivamente por Latossolos. Esse fato foi considerado para ajustar alguns limites entre Latossolos e os demais solos com Bt.

A distribuição das classes de solos (Figura 7) demonstra que as microbacias 2, 3 e 4 são constituídas, quase que totalmente, por Latossolos. Já a microbacia 1 apresenta constituição pedológica heterogênea em relação às outras. Esse

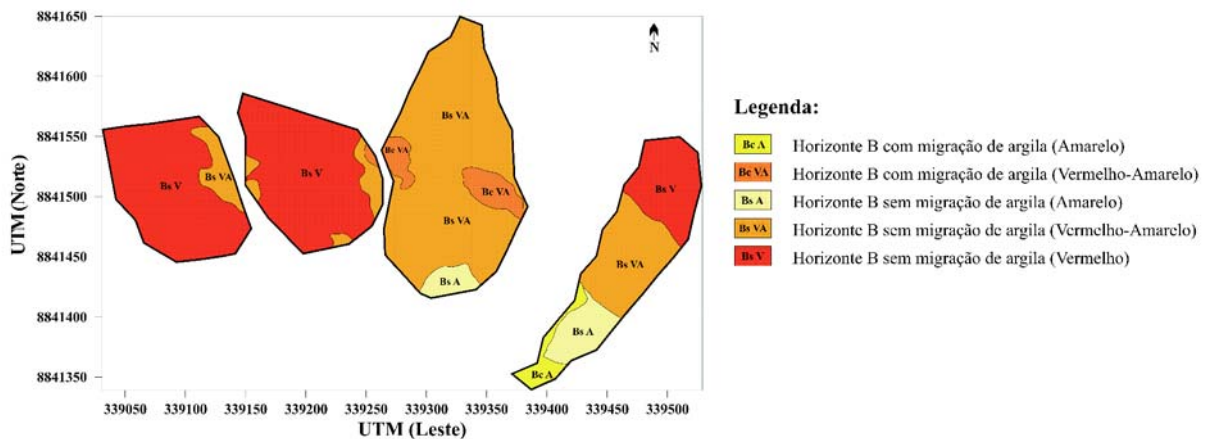


Figura 6. Mapa gerado por meio da sobreposição dos mapas da relação textural (RT) e índice de avermelhamento (RR).

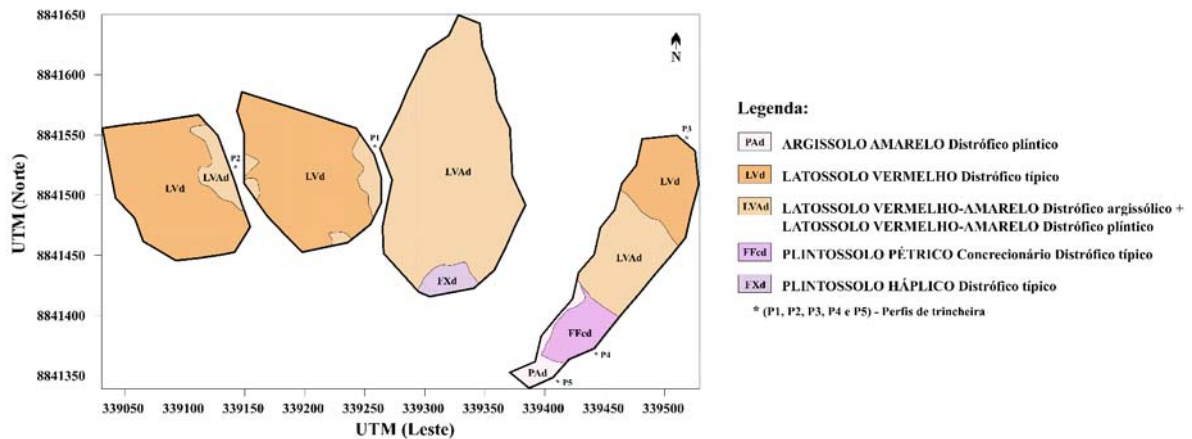


Figura 7. Distribuição das classes de solos das microbacias, segundo o SiBCS (Embrapa, 1999), em escala aproximada de 1:4.500.

comportamento demonstra a complexa dinâmica dos fatores de formação de solo (Jenny, 1941), em que há variabilidade mesmo em um pequeno espaço (Warrick & Nielsen, 1980). Nesse caso, possivelmente, os fatores relevo e material de origem tiveram maior influência na formação das distintas classes de solo do que o clima, os organismos e o tempo.

CONCLUSÕES

1. Isoladamente, as determinações analíticas de rotina em amostragem de solos nas profundidades de 0–20 e 40–60 cm não permitiram a perfeita identificação e delimitação cartográfica de todas as classes de solo existentes nas microbacias estudadas. Contudo, forneceram informações importantes que, quando associadas ao posicionamento altimétrico e aos perfis descritos, possibilitaram a execução dessas tarefas.

2. Foi estabelecida uma correspondência bastante satisfatória entre os intervalos do índice de avermelhamento (RR) do horizonte diagnóstico dos solos e a nomenclatura do segundo nível categórico (subordem) de Argissolos e Latossolos (SiBCS), inclusive, de maneira análoga, para os horizontes portadores de plintita.

3. Nas microbacias, as classes Plintossolos e Argissolos (com caráter plíntico) têm ocorrência restrita às áreas com cotas inferiores a 280 m; já nas cotas superiores ocorrem exclusivamente Latossolos. Essas alterações de classes de solo em espaços tão diminutos parecem estar mais relacionadas ao relevo e material de origem do que aos outros fatores de formação do solo.

4. O trabalho mostrou ser válido para a região do estudo, permitindo a acurada delimitação de classes de solos em mapas detalhados, com uso da geoestatística, considerando algumas características diferenciais dos solos e da paisagem de fácil determinação.

LITERATURA CITADA

- BATJES, N.H. & DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, 89:273-286, 1999.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 21 - Juruena. Rio de Janeiro, MMESG, 1980. 460p. (Levantamento de Recursos Naturais, 20)
- CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. eds. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 17 out. 2003.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, R.C. Determinação da cor do solo e sua utilização na predição dos teores de hematita. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001. 59p. (Tese de Mestrado)
- CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R. & MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 97:39-60, 2000.
- COUTO, E.G. & OLIVEIRA, V.A. Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do imóvel da Rohden Indústria Lígnea Ltda, município de Juruena/MT. Cuiabá, UFMT/IBGE, 2003. 92p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1997. 212p.
- FAO/UNESCO. Soil map of the world: revised legend. World Soil Resources Report 60. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1988. 119p.
- GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89:1-45, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA - IBGE. Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Convênio IBGE/SUDAM. Rio de Janeiro, IBGE, 1990. 212p.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.
- JENNY, H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. New York, MacGraw Hill, 1941. 281p.
- JOURNAL, A.C. & HUIJBREGTS, C.J. Mining geostatistics. London, Academic, 1978. 600p.
- KUZYAKOVA, I.F.; ROMANENKOV, V.A. & KUZYAKOV, Ya.V. Geostatistics in soil agrochemical studies. *Eur. Soil Sci.*, 34:1011-1017, 2001.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Econ. Geology*, 46:1246-266, 1963.

- McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland. *Geoderma*, 26:63-82, 1981.
- McBRATNEY, A.B.; DE GRUIJTER, J.J. & BRUS, D.J. Spatial prediction and mapping of continuous soil classes. *Geoderma*, 54:39-64, 1992.
- McBRATNEY, A.B.; SANTOS, M.L.M. & MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52, 2003.
- MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Baltimore, 1975.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:1-6, 1986.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 3.ed. Viçosa, NEPUT, 2002. 338p.
- ROBERTSON, G.P. *GS+: Geostatistic for the environment sciences – GS+ user's guide version 5*. Plainwell, Gamma Desing Software, 2000. 200p.
- SOIL SURVEY STAFF. *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2.ed. Washington, Government Printing Office, 1999. (USDA, Handbook 436)
- SOMBROECK, W.G. Soils of the Amazon Region. In: H. SIOLI, ed. *The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, p.521-536, 1984.
- SUPERINTENDENCIA ESTATUAL DE PLANEJAMENTO - SEPLAN. *Diagnóstico Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso*. Governo do Estado de Mato Grosso - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. 2001. CD-ROM.
- SURFER. *Surfer 8.0: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers. User's Guide*. New York, Golden Software, Inc., 2002. 619p.
- 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)
- VAN WAMBEKE, A. *Soils of the tropics: properties and appraisal*. 2.ed. Ithaca, Cornell University – Department of Crop and Soil Sciences, 2002.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. 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.I, p.1-54.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Sapatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, p.319-344, 1980.
- WEBSTER, R. Is soil variation random? *Geoderma*, 97:149-163, 2000.
- WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F., eds. *Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and Interactions*. Amsterdam, Elsevier, 1983. p.83-116.
- Van WAMBEKE, A. *Soils of the tropics: properties and appraisal*. 2.ed. Ithaca, Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences, 2002.páginas
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Sapatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Application of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.
- WEBSTER, R. Is soil variation random? *Geoderma*, 97:149-163, 2000.
- WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F., eds. *Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and interactions*. Amsterdam, Elsevier, 1983. p.83-116.