

CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA SITUADA NA REGIÃO DE SÃO PEDRO – SP

Fernando Shinji KAWAKUBO¹

Déborah de OLIVEIRA²

Rúbia Gomes MORATO¹

Resumo

O objetivo deste trabalho consiste em realizar uma caracterização morfológica de uma topossequência localizada no município de São Pedro – SP. A caracterização foi feita inicialmente com a análise estatística da distribuição de cinco atributos do solo considerados relevantes. Posteriormente, a análise de superfície de tendência foi incorporada ao estudo com o objetivo de verificar as tendências gerais e as variações locais de cada atributo ao longo do perfil-vertente. Os resultados evidenciaram a dominância da fração Areia Fina ao longo da topossequência, sugerindo tratar-se de um sistema pedológico de transição entre os Neossolos Quartzarênicos e Argissolos Vermelho Amarelos.

Palavras-chaves: dinâmica do solo; caracterização morfológica; topossequência; superfície de tendência; estatística espacial; São Pedro.

Abstract

Contribution of the trend surface analysis to a morphological characterization of a topossequence located in São Pedro region – western São Paulo

The aim of this work consists to achieve a morphological characterization of a topossequence in São Pedro - SP. The characterization consisted initially of five important soil attributes distribution statistical analysis. This way, the trend surface analysis was carried out in the study with the purpose of verifying how the global and local variations act in the slope profile. The results showed the dominance of the Fine Sand fraction along the topossequence what suggest it to be a pedological transition system between Neossolos Quartzarênicos and Argissolos Vermelho Amarelos.

Key words: soil dynamics; morphological characterization; topossequence; trend surface; statistical spatial analysis; São Pedro.

¹ Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto – Dep. Geografia/USP

² Laboratório de Pedologia – Dep. Geografia/USP - E-mail: {fsk, debolive, rubiagm}@usp.br
Tel: (11) 3091-3723

INTRODUÇÃO

Métodos estatísticos espaciais de interpolação são extremamente importantes para os estudos relacionados às Geociências, pois permitem a partir de pontos amostrais gerar superfícies contínuas (malha regular ou triangular) em áreas não contempladas pela amostragem.

Quando se realiza uma análise de estatística clássica do conjunto de amostras, pressupõe-se que as propriedades dos valores encontrados são realizações de uma variável casual, onde todos os valores amostrais possuem a mesma probabilidade de serem escolhidos. Uma característica importante da estatística clássica que difere da estatística espacial é o fato de não levar em consideração a influência da localização das amostras (LANDIM, 2003).

Variáveis espaciais apresentam muitas vezes correlação com sua vizinhança, uma vez que amostras coletadas em pontos próximos possuem grande probabilidade de apresentar valores similares. É o caso, por exemplo, da distribuição das propriedades físicas do solo (tema de interesse deste trabalho), de parâmetros morfométricos do relevo e superfícies de gradiente hidráulico (GROHMANN, 2005), distribuição de temperatura, precipitação, umidade relativa e outros atributos relacionados à climatologia (SHANG et al. 2001).

Na estatística espacial os valores amostrados também são considerados realizações de funções casuais, porém neste caso, o valor de um ponto é função da sua posição no espaço, sendo também considerada a posição relativa dos pontos amostrados (LANDIM, 2003). A similaridade entre os valores amostrados é quantificada em função da distância que os separam.

Um dos métodos mais simples de interpolação consiste em trançar linhas de mesmo valor denominadas de *isolinhas* ou *isopletas* a partir de pontos dispersos. Quando está sendo representada curvas de temperatura, normalmente são chamadas de *isotermas*, ou *isoígras* para umidade, *isoípsas* para altitude, *isóbaras* para pressão, *isópacas* para espessura dos sedimentos etc. A confecção destes mapas é feita na maioria das vezes de forma artesanal e subjetiva, e por isso, as interpretações realizadas dificilmente seguem regras estabelecidas.

Uma técnica objetiva que faz uso de ajustes matemáticos para traçar os melhores contornos das tendências de variações é conhecida como análise de superfície de tendência (*trend surface analysis*). Segundo Landim (2003), esta metodologia foi originalmente introduzida nas Ciências da Terra por Oldham e Sutherland (1955) para análise de mapas gravitacionais. No Brasil, uma das primeiras aplicações foi feita por Fúlfaro (1971) sobre as isópacas da bacia do Paraná.

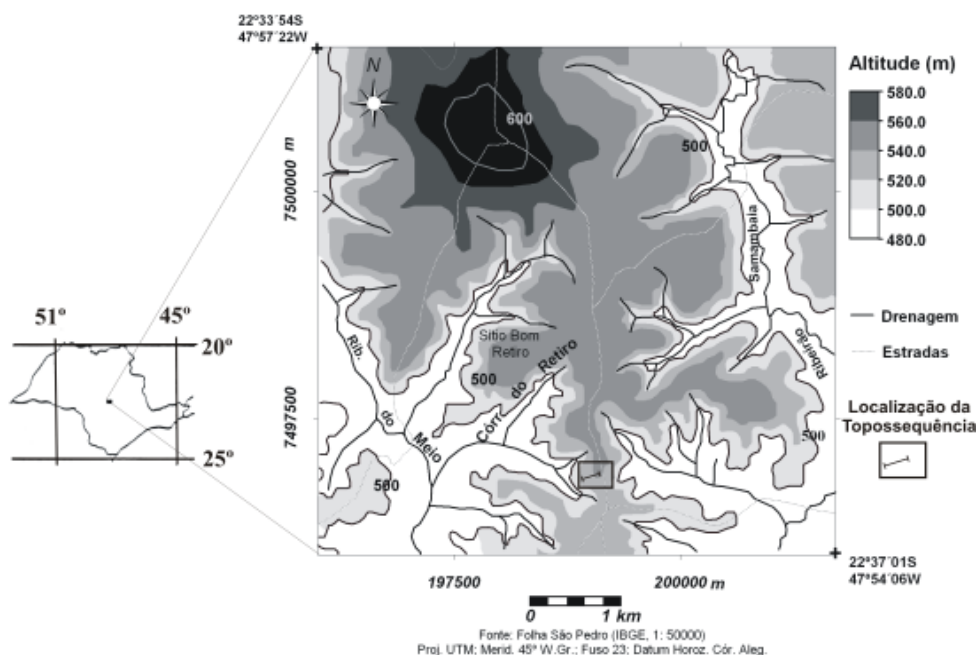
Diante disto, o objetivo deste trabalho consiste em realizar uma caracterização morfológica dos atributos físicos do solo (frações, argila, silte fino, silte grosso, areia fina e areia grossa) extraído de uma topossequência localizada no município de São Pedro (SP). Os dados foram coletados por Oliveira (1997), cujo estudo se baseia na análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET et al., 1982). Foi considerada a variabilidade vertical e lateral da granulometria do solo ao longo do perfil-vertente.

Para a caracterização proposta, a análise de superfície de tendência foi realizada utilizando o programa Geovisual 2.1 desenvolvido em Delphi por Yamamoto (1998). Este programa foi projetado para o uso acadêmico e conta com recursos de interpoladores globais (superfície de tendência) e locais (krigagem ordinária, equações multiquádricas, inverso do quadro da distância, triangulação de *Delaunay*).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Depressão Periférica Paulista, próxima ao contato com o Planalto Ocidental, na porção Sul do município de São Pedro-SP. A vertente estudada situa-se na zona de transição entre o *glacis* mais preservado para o mais dissecado (OLIVEIRA, 1997), no interflúvio do Ribeirão do Meio e Samambaia - vertente da margem esquerda da bacia do Córrego do Retiro (figura 1).

Figura 1 - Mapa hipsométrico localizando a área de estudo. Conforme se observa, a topossequência situa-se numa micro-bacia do Córrego do Retiro - São Pedro (SP)



O *glacis* preservado corresponde a uma superfície inclinada e muito suave (declividade de 3 a 6%) que se estende por 6 a 7 km, iniciando no sopé da escarpa em direção ao Rio Piracicaba. Ocupa cotas altimétricas que decrescem de 620 a 540m. A passagem do *glacis* preservado para o dissecado se dá aproximadamente entre as altitudes 540 a 500m (OLIVEIRA, 1997), com declividades mais fortes da ordem de 20%. Essa transição é marcada por vários nichos de nascentes, com rios de primeira ordem intermitentes e vales em forma de V fechado. A zona dissecada encontra-se entre as altitudes 500 e 460m, com declividades de 12 a 20%.

Os solos da região se desenvolvem principalmente sobre a Formação Pirambóia (SOARES, 1973) de origem sedimentar pertencente ao Grupo São Bento (Mesozóico). A Formação Pirambóia compreende um conjunto de depósitos essencialmente arenosos de ambiente fluvial que repousa em discordância sobre os arenitos do Permiano.

Sua espessura máxima é superior a 300m no Estado de São Paulo e sua idade vai do Triássico Inferior ou Médio ao Jurássico (WU; SOARES, 1974). Estudos realizados por Queiroz Neto e Journaux (1978) mostram que na área de estudo (entre o vale do rio Piracicaba e o sopé da escarpa da Serra de São Pedro), ocorrem arenitos finos, com níveis silticos-argilosos lenticulares e estratificação plano-paralela atribuída à origem flúvio-lacustre.

Os arenitos da Formação Pirambóia apresentam 95% de quartzo e 5% de feldspatos e micas (SOARES, 1973). Quanto aos parâmetros texturais, apresentam seleção média, assimetria negativa e maior variabilidade de granulometria, dada principalmente pela grande variação do diâmetro médio (BÓSIO, 1973).

Especificamente na topossequência estudada, desenvolve-se um sistema pedológico de transição entre os Neossolos Quartzarênicos e os Argissolos Vermelho Amarelos. De acordo com Oliveira (1997), nesta área (trecho de transição entre o *glacis* mais preservado e dissecado), os espessos Neossolos Quartzarênicos dominantes no *glacis* preservado diminuem, havendo uma substituição progressiva dos Argissolos Vermelho Amarelos em direção a zona dissecada.

O solo é marcado pela presença de horizonte subsuperficial arenoso e espesso, com bandas onduladas intercaladas com lentes arenosas eluviadas, passando na base dos perfis, a um horizonte profundo similar aos Neossolos Quartzarênicos.

PROCEDIMENTOS EXECUTADOS

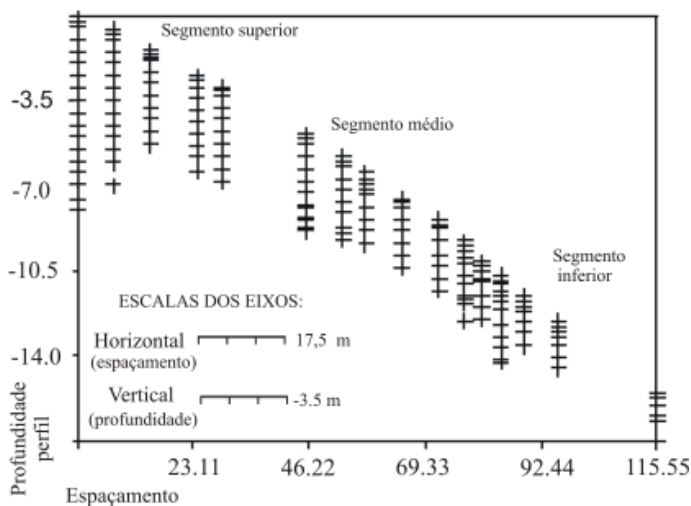
Amostragem

A amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno estudado. Ela é realizada na maioria das vezes por razões econômicas, face à impossibilidade de registrar integralmente as informações de interesse. Apresenta como vantagem a maior rapidez na análise, a amplitude e a flexibilidade, além da exatidão das informações (COCHRAN, 1963).

A amostragem consiste numa das etapas mais importante de todo o processo de análise (WEIBER; HELLER, 1991). Ela deve conter um número suficiente de amostras e estes dados devem estar localizados numa posição $\{z = f(x, y)\}$ que possibilite representar o comportamento da variável estudada.

No caso da análise proposta, a amostragem foi composta por 16 furos de tragagem ao longo de uma topossequência dividida em segmentos superior, médio e inferior. Em cada furo, foram coletados diferentes números de amostras em intervalos verticais mais ou menos regulares (na maioria das vezes de 15 a 20cm), conforme pode ser observado na figura 2. No total, foram selecionadas 162 amostras distribuídas ao longo do perfil vertical e lateral.

Figura 2 - Localização e distribuição das amostras ao longo da topossequência estudada. Os valores dos eixos vertical e horizontal correspondem respectivamente à profundidade e espaçamento lateral entre os furos de sondagem



Para cada amostra coletada, análises de laboratório foram realizadas com o objetivo de fracionar as proporções (%) de argila, silte fino, silte grosso, areia fina e areia grossa. Detalhes dos procedimentos laboratoriais podem ser encontrados em Oliveira (1997).

Análise Exploratória

A análise de estatística exploratória foi feita em vários momentos do trabalho. Inicialmente, foi utilizada para conhecer melhor o dado coletado, possibilitando sumarizar os dados obtidos, conferir a base de dados, e, inclusive, conhecer valores anômalos – *outliers* (YAMAMOTO, 1998). As curvas de frequências acumuladas (lançadas em escalas de probabilidade aritmética), associadas aos valores dos coeficientes de variações (medida adimensional) revelaram o tipo de distribuição de cada amostra.

Definições da Estrutura de Dados e da Fronteira Convexa

A estrutura de dados representa as formas como os dados são armazenados e manipulados no computador. Ela é organizada de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise (FELGUEIRAS, 2002).

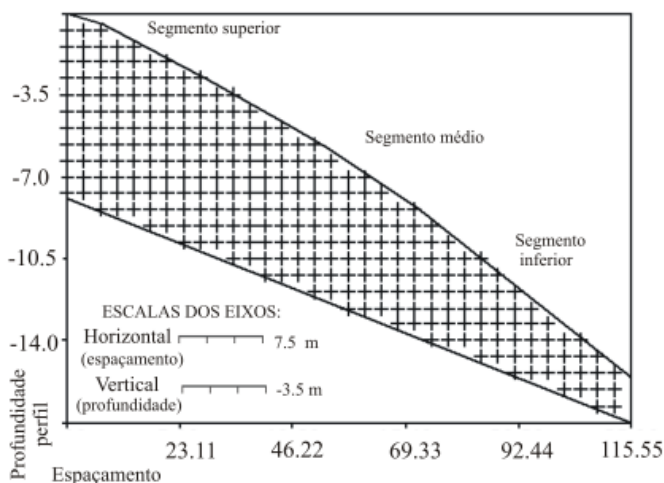
As estruturas mais utilizadas para a análise espacial e Modelagem Digital de Elevação são os Modelos de Grades Regulares Retangulares e Irregulares Triangulares. A diferença básica entre ambas as estruturas é a forma da malha. Em uma malha regular retangular todas as células possuem a mesma forma e tamanho. Numa grade

irregular triangular as células também tem a mesma forma, porém com tamanhos diferentes.

O sistema Geovisual trabalha principalmente com o Modelo de Grade Regular Retangular. Nos parâmetros da malha são solicitados os valores Mínimos e Máximos das coordenadas X e Y e o número de nós de ambas as direções. Este último determina a abertura da malha, ou seja, o tamanho do *pixel* da imagem. Na realidade, não existe um valor ideal para a abertura da malha, todavia, recomenda-se que não seja nem muito grande para generalizar demasiadamente o resultado nem muito pequena, pois irá gerar superfícies com suavidades em excesso. Um tamanho padrão talvez seja a metade do espaçamento médio entre as amostras.

A fronteira convexa é o polígono envoltório da área mínima que engloba os pontos amostrados. No programa utilizado, a fronteira é automaticamente demarcada. O uso deste artifício é importante para a interpolação de dados porque evita a interpretação de dados espúrios criados pela extrapolação matemática (YAMAMOTO, 1997b). O sistema, portanto, só interpola dentro da área útil. A figura 3 demonstra a definição da fronteira convexa para os 16 furos de amostragem.

Figura 3 - Definição da Fronteira Convexa, segundo Yamamoto (1997b) para os 16 furos de amostras de solos dispostos ao longo da topossequência



Conceitos Básicos de Interpolação

A interpolação consiste em estimar valores em cada ponto do nó da grade a partir das características do conjunto de amostras de entrada. O resultado é uma imagem contínua que possui valores estimados em todo o domínio convexo de amostragem.

De acordo com Yamamoto (1988), além de estimar os valores, a interpolação também é efetuada para regularizar a malha de pontos, pois na maioria das vezes, a distribuição inicial das amostras é irregular. Além disso, ela é utilizada para enriquecer a malha original, caso os dados já estejam regularmente distribuídos.

Existem diversos esquemas de interpolação (BURROUGH, 1986). De início, essas funções podem ser agrupadas em dois tipos de critérios que levam em consideração o número de amostras utilizadas para estimar um ponto desconhecido (HOWARTH, 1983).

O primeiro critério de seleção, conhecido como global, considera todas as amostras da área de estudo, enquanto o segundo, do tipo local, somente as amostras escolhidas dentro de uma região ou raio de influência.

No método global, ajusta-se uma única função que é válida para todo o domínio da amostragem. Pelo fato da função global depender de todos os pontos amostrados, Franke (1982) ressalta que a adição ou exclusão de um ponto, ou a mudança de sua coordenada irá se propagar em toda parte do domínio de definição.

No método local, ao contrário, em cada porção do domínio define-se uma função que é aplicada sucessivamente até cobrir toda a área de interesse. Muitas vezes, os próprios programas permitem que o usuário defina a proximidade ou a vizinhança, indicando, por exemplo, o raio ou o número de amostras consideradas na derivação dos valores interpolados (EASTMAN, 1999). Neste método, a adição, exclusão ou mudança na posição de um ponto irá afetar apenas a interpolação dos pontos próximos, não influenciando os pontos mais distantes (YAMAMOTO, 1997a).

Outra forma de classificar as funções de interpolação é por meio da diferença entre o valor computado e o valor observado. Diz-se que a interpolação é exata quando esta diferença (denominada de resíduo) é nula e aproximada quando esta diferença é significativa.

As regressões polinomiais de baixo grau denominadas de superfícies de tendência são exemplos clássicos de interpoladores globais e aproximados.

Análise de Superfície de Tendência

A superfície de tendência é um interpolador que gera contornos muito suaves aplicados para visualizar tendências gerais de variações. O termo análise é utilizado porque se testa vários graus de polinômio antes de definir qual a superfície que melhor se ajusta aos dados originais.

A equação geral de um polinômio bivariado de grau m é escrito da seguinte forma:

$$F = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} c_{ij} \cdot X^i \cdot Y^j$$

Onde:

F é a variável dependente

m é o grau do polinômio

c_{ij} são os coeficientes do polinômio

Y é a coordenada norte-sul

X é a coordenada leste-oeste.

Expandindo a equação geral, as seguintes formas podem ser encontradas:

Para uma superfície de grau 1: $F = a + bX + cY$

Para uma superfície de grau 2: $F = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2$

Para uma superfície de grau 3: $F = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 + gX^3 + hX^2Y + iXY^2 + jY^3$

Graus mais elevados podem ser definidos sucessivamente na análise de superfície de tendência desde que o número de coeficientes a serem encontrados seja igual ou inferior ao número de pontos de dados (YAMAMOTO, 1988).

O número de coeficientes de um polinômio de grau m é encontrado aplicando:

$$nc = (m + 1) \cdot (m + 2)/2$$

Sendo :

nc o número de coeficientes

m o grau do polinômio

A determinação dos valores dos coeficientes é feita resolvendo-se um sistema de equações lineares que satisfazem o critério dos *Mínimos Quadrados*. Ou seja, a somatória das diferenças entre os valores computados e observados é mínima possível.

Uma característica particular das superfícies de tendência é a possibilidade de estudar ao mesmo tempo tanto as variações globais, representadas pela componente regional, quando pela componente local das variações (DAVIS, 1986). De acordo com Landim (2003), define-se neste método além das grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, as pequenas flutuações (anomalias) aparentemente não ordenadas que se impõe aos padrões mais gerais.

Estas pequenas flutuações são representadas pelo resíduo que é calculado como:

$$Res = V_{obs} - V_{comp}$$

Onde:

Res é o resíduo

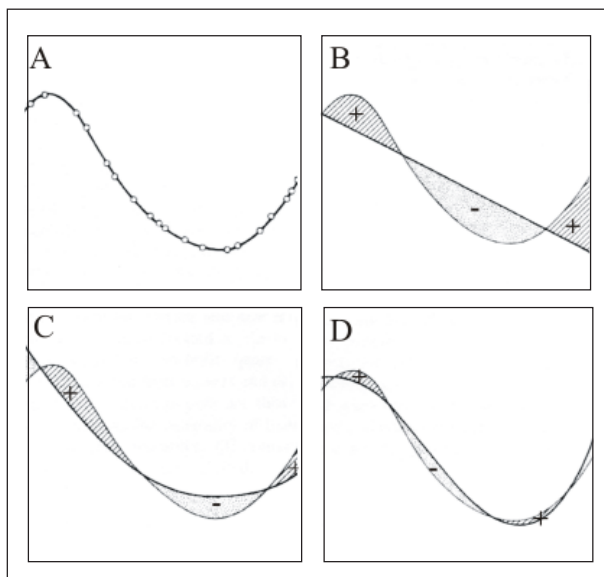
V_{obs} é o valor observado

V_{comp} é o valor computado

Quando o resíduo for maior do que zero ($Res > 0$) significa que o valor observado é maior do que o valor computado ($V_{obs} > V_{comp}$). Quando o resíduo for negativo ($Res < 0$) significa que o valor computado é maior do que o valor observado ($V_{comp} > V_{obs}$).

A figura 4 ilustra o conceito de tendência e resíduo em duas dimensões. A figura 4A corresponde aos dados originais. As figuras 4B, 4C e 4D representam respectivamente os ajustes de tendências para os polinômios de grau 1 (plano), 2 (parabolóide) e 3 (superfície de 3º grau). As áreas sombreadas correspondem aos resíduos (sobra) de cada superfície.

Figura 4 - Conceito de tendência e resíduo. A figura A representa os dados originais. As figuras B, C e D são as superfícies de grau 1, 2 e 3. As áreas sombreadas correspondem aos resíduos gerados para cada ajuste (DAVIS, 1986)



A maneira clássica de encontrar o melhor ajuste na análise de superfície de tendência é começar utilizando um polinômio de grau mais baixo e ir aumentando a ordem até chegar num certo ponto que a superfície deixa de ter significado estatístico (FÚLFARO, 1971). A escolha de um grau mais elevado não significa necessariamente um melhor ajuste, pois podem gerar superfícies inexistentes que não expressam a variabilidade natural do fenômeno colocado em questão.

Para o objetivo proposto neste trabalho, foram testados vários graus de polinômio. Cada superfície gerada foi avaliada de forma visual e por meio de análises de correlação entre os valores conhecidos e estimados pela interpolação. Análise de variância – ANOVA e teste F (DAVIS, 1986) foram realizadas para testar a significância de cada superfície.

Como o interesse esteve centrado especialmente no estudo das flutuações locais para avaliar as variações dos diferentes atributos físicos do solo ao longo da toposequência, a superfície de grau $m = 1$ foi a mais explorada.

RESULTADOS

A análise exploratória demonstrou que a fração Areia Fina é a predominante, com a maior média de porcentagem entre as cinco variáveis consideradas. A variável Silte Grosso apresentou a média e o desvio padrão mais baixo. O coeficiente de

variação mostrou que o grau de dispersão relativa em torno da média é maior no Silte Fino e menor na Areia Fina. Os resultados desta análise são resumidos na tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise de estatística descritiva das cinco variáveis consideradas (valores das amostras de entrada medidas em porcentagem)

Estatística / Fração	Número de Dados (n)	Média (m)	Desvio Padrão (s)	Coefficiente de Variação (cv)
Argila	162	13.013	5.865	0.451
Silte Fino	162	2.426	3.055	1.259
Silte Grosso	162	1.991	0.625	0.314
Areia Fina	162	66.018	8.292	0.126
Areia Grossa	162	16.688	8.282	0.496

Em relação ao tipo de distribuição, os resultados revelaram que as amostras de Argila, Silte Grosso e Areia Grossa possuem distribuições simétricas, portanto normal. A amostra de Silte Fino possui assimetria positiva, indicando na curva acumulada tratar-se de uma distribuição log-normal. Areia Fina possui o coeficiente de variação mais baixo por se tratar de distribuição com assimetria negativa.

As superfícies de tendências possibilitaram caracterizar o comportamento geral e as anomalias locais expressas pelos seus respectivos resíduos. Conforme mencionado, como o interesse esteve centrado nas flutuações locais das cinco frações ao longo da topossequência, a figura 5 apresenta os resultados das superfícies de grau 1.

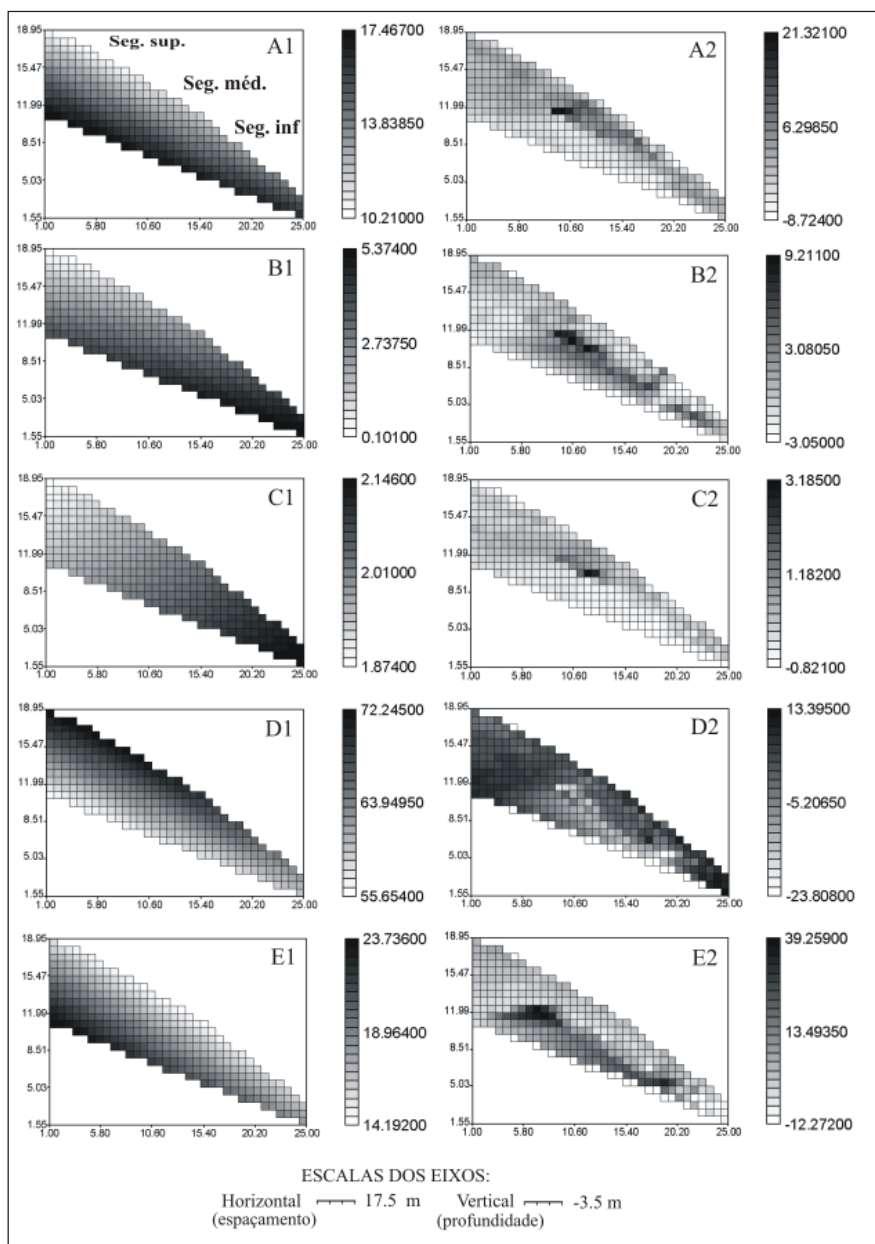
A figura 5A corresponde à distribuição da fração Argila. O mapa de resíduo mostra que a argila está concentrada no segmento médio da vertente a uma profundidade de aproximadamente 2.8 metros. Este ponto corresponde ao horizonte B textural (Bt) de máxima acumulação de argila. De acordo com Oliveira (1997), encontra-se também nesta localidade a presença de um lamito (volume de alteração da rocha) que contribui com o maior acúmulo de argila neste trecho da topossequência.

O Silte Fino, conforme mostra a figura 5B, está mais concentrado nas proximidades dos pontos de maior acumulação da argila. Distribui-se especialmente do segmento médio para o inferior da vertente a uma maior profundidade - cerca de 2.8 a 3.5 metros, correspondendo ao horizonte C (horizontes de alteração que carregam ainda minerais pouco alterados) e no lamito.

O Silte Grosso, representado pela figura 5C, aparece apenas no lamito e é muito pouco representativo.

A Areia Fina é a fração representativa dos Neossolos Quartzarênicos de São Pedro. Conforme pode ser verificado na figura 5D, a fração Areia Fina aparece bem distribuído no segmento superior da topossequência e em superfície. O segmento inferior também apresenta grande concentração por tratar-se de Litossolo raso, já em contato com o Arenito Pirambóia alterado.

Figura 5 - Mapas de superfícies de tendência de grau 1. Comportamento das tendências gerais (esquerda) e locais (direita) para: A) Fração Argila; B) Fração Silte Fino; C) Fração Silte Grosso; D) Fração Areia Fina; E) Fração Areia Grossa



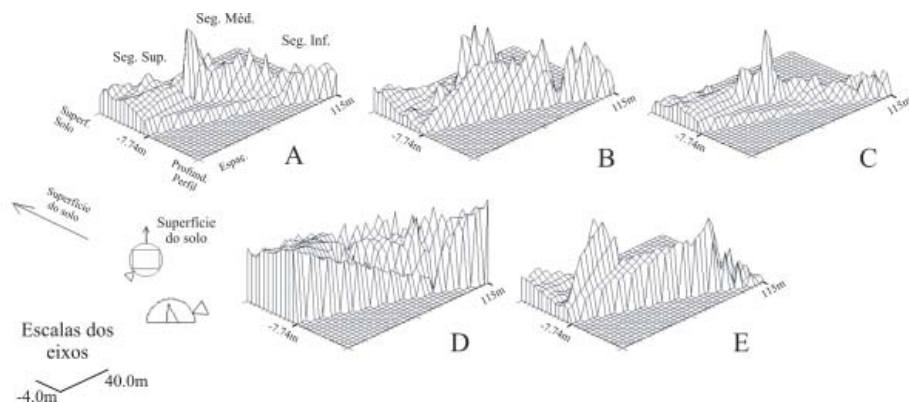
Concentrada nos horizontes C (numa profundidade entre 4 a 5 metros) e na alterita do arenito, a fração Areia Grossa é ilustrada na figura 5E. Ocupa principalmente o espaço com menor proporção de Areia Fina. O entendimento de sua distribuição é importante porque esta fração corresponde a um sistema eluvial que promove a exportação da argila em profundidade e no rumo jusante. A presença de quantidades consideráveis de areia grossa é um importante indicador da porosidade funcional que auxilia na translocação de argilas (OLIVEIRA, 1997).

Os resultados apresentados na análise da superfície de tendência condizem com as interpretações realizadas por Oliveira (1997), que dividiu a topossequência em dois sistemas pedológicos diferentes. Os segmentos superior e médio constituem um sistema de transformação pedológica ligado à gênese das bandas onduladas e do horizonte B textural na transição do *glacis* para a zona dissecada. Já no segmento inferior, a ausência de argila marca o início de um novo sistema pedológico ligado à formação de Litossolo da zona dissecada.

A passagem entre esses dois sistemas é marcada por um forte aumento da declividade que reforça o desequilíbrio dos solos do *glacis* e o equilíbrio dos solos da zona dissecada. Trata-se, portanto, de um sistema pedológico em atividade de transformação de Neossolos Quartzarênicos com bandas onduladas para Argissolos Vermelho-Amarelos.

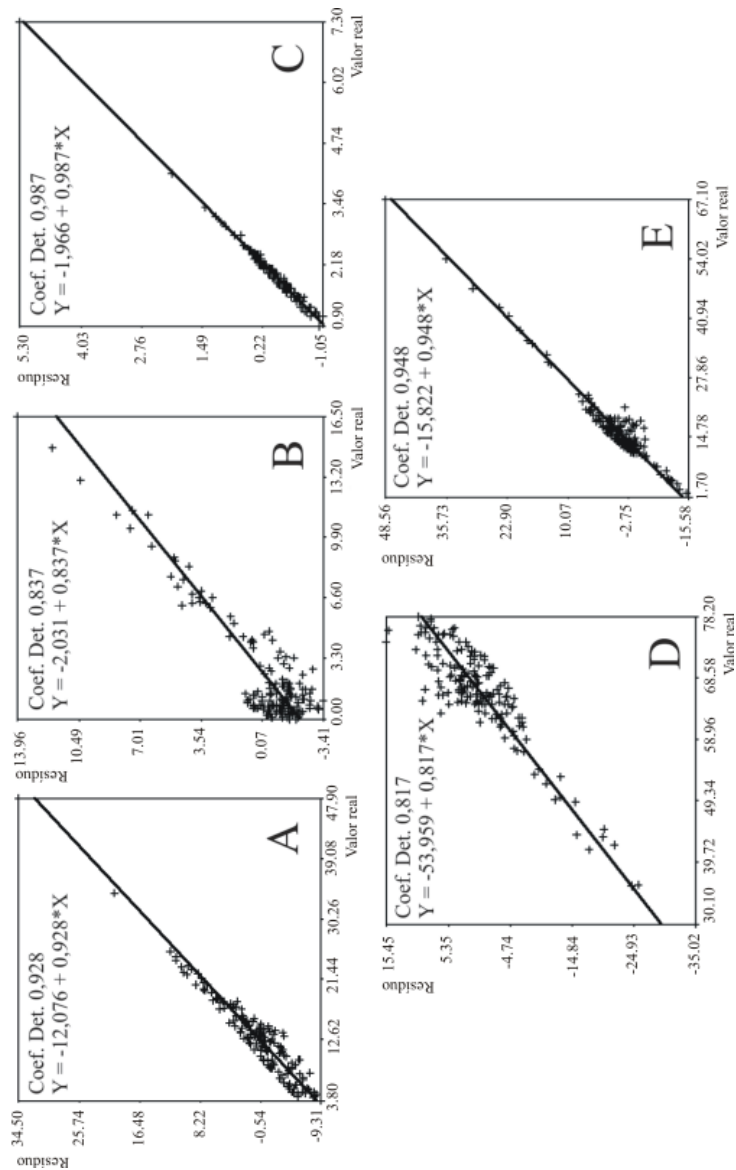
A figura 6 mostra o comportamento do resíduo ao longo da topossequência numa perspectiva tridimensional, ressaltando, por exemplo, a maior quantidade de Argila no segmento médio da topossequência (figura 6A) e uma dominância da Areia Fina praticamente ao longo de todo o perfil (figura 6D).

Figura 6 - Visão tridimensional dos resíduos: A) Argila; B) Silte Fino; C) Silte Grosso; D) areia Fina; E) Areia Grossa



A figura 7 representa os ajustes obtidos entre os valores reais e os resíduos gerados pelas superfícies de grau 1. Todos os coeficientes de determinação (obtido pela razão entre a variância explicada e variância total) encontram-se acima de 0.8, o que indica elevado ajuste com os dados originais. As superfícies com maior espalhamento ao longo da reta se observam nas frações Silte Fino e Areia Fina. Ambas as frações apresentam em suas amostras distribuições assimétricas, positiva e negativa, respectivamente.

Figura 7 - Retas de regressões mostrando os ajustes entre os valores reais e os resíduos. As figuras A, B, C, D e E correspondem respectivamente as frações Argila, Silte Fino, Silte Grosso, Areia Fina e Areia Grossa



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de superfície de tendência mostrou a variabilidade que rege a dinâmica do solo ao longo de uma topossequência. O estudo das tendências gerais e das flutuações locais permitiu caracterizar a distribuição dos atributos físicos do solo utilizando uma técnica objetiva e com elevada precisão de ajuste. A topossequência estudada foi dividida em três segmentos: superior, médio e inferior. Dentre as cinco frações consideradas (Argila, Silte Fino, Silte Grosso, Areia Fina e Areia Grossa), a Areia Fina foi a dominante, distribuída praticamente ao longo de todo o perfil-vertente. A fração Argila concentrou-se no segmento médio da vertente, a uma profundidade de 2,8 metros, decorrente da presença de um lamito. O Silte Fino distribuiu-se nas proximidades do ponto de maior acumulação de argila, restringindo-se do segmento médio para o inferior da topossequência. Já o Silte Grosso possui pouca representatividade. Numa profundidade de 4 a 5 metros, a fração Areia Grossa localiza-se nas áreas com menor concentração de Areia Fina. O entendimento da distribuição de Areia Grossa é importante porque corresponde a um sistema eluvial que promove a exportação da argila em profundidade e no rumo jusante. Mediante as características descritas, o solo presente ao longo da topossequência foi sugerido como sendo um sistema de transição entre Neossolos Quartzarênicos para Argissolos Vermelho-Amarelos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto do IG-USP, pelos ensinamentos sobre os métodos estatísticos de interpolação espacial e pela autorização concedida para o uso do *software* GEOVISUAL. Os autores também expressam os seus agradecimentos ao Ricardo Nader, Paulo Almeida Correia Junior e o revisor da revista Geografia, que muito colaboraram na revisão deste texto.

REFERÊNCIAS

- BOULET, R.; HUMBEL, F.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. **Cah. ORSTOM Série Pédologie**, 1982, v.19, n.4, p.309-322.
- BÓRIO, N. J. A formação Botucatu na região de São Pedro, SP. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 26. 1972, Belém, **Anais...** 1972, v.1, p.249-250.
- BURROUGH, P. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986.
- COCHRAN, W. G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1963.
- DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. Second edition. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- EASTMAN, J. R. **Guide to GIS and image processing**. Volume 2. Worcester: Clark Labs, 1999.

FELGUEIRAS, C. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2002.

FRANKE, R. Scattered data interpolation: test of some methods. **Math. Comput.**, v.38, n. 157, p. 181-200, 1982.

FÚLFARO, V. J. **A evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo "Trend-Surface Analysis"**. 1971. 112f. Tese (livre docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GROHMANN, C. H. Trend-surface analysis of morphometric parameters: a case study in southeastern Brazil. **Computers & Geosciences**, n.31, p.1007-1014, 2005.

HOWARTH, R. J. Mapping, In: HOWARTH, R. J. (ed.). **Statistics and data analysis in geochemical prospecting**. Elsevier, 1983.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora Unesp, 2003.

OLDHAM, C. W. G.; SUTHERLAND, D. B. Orthogonal polynomials: their use in estimating the regional effect. **Geophysics**, v.20, p.295-306, 1955.

OLIVEIRA, D. **Estudo macro e micromorfológico de uma topossequência na bacia do córrego do Retiro em São Pedro – SP**. 1997.143f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUEIROZ NETO, J. P. JOURNAUX, A. **Carta geomorfológica de São Pedro-SP**. São Paulo: IGEOG-USP, 1978. (Memorial explicativo).

SHANG, Z.; GAO, Q.; YANG, D. The climate information system of China. **Climate Research**, v.18, n.2, p.229-247, 2001.

SOARES, P. C. **O mesozóico gondwânico no estado de São Paulo**. 1973. 152f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

YAMAMOTO, J. K. Representações gráficas espaciais em geociências auxiliadas por computador. **Revista Brasileira de Geociências**, v.18, n.1, p. 3-26, 1988.

YAMAMOTO, J. K. A review of numerical methods for the interpolation of geological data. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v.70, n.1, p. 91-116, 1997a.

YAMAMOTO, J. K. Convex_hull – a pascal program for determining the convex hull for planar sets. **Computers & Geoscience**, v.23, n.7, p.725-738, 1997b.

YAMAMOTO, J. K. **Apostila sobre geoestatística aplicada**. São Paulo: LIG/IGC-USP, 1998.

WEIBER, R.; HELLER, M. Digital terrain modelling. In: GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longman, 1991. v.2, p.269-297.

WU, F. T.; SOARES, P. C. Minerais pesados nas formações Pirambóia e Botucatu. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 28. 1974, Porto Alegre, **Anais...** 1974, v.2, p.119-127.

Recebido em abril de 2004

Aceito em Janeiro de 2006