

# Mapeamento da Predominância Topográfica através do Processamento de Dados SRTM como Contribuição ao Mapeamento de Solos<sup>1</sup>

Viviana Aguilar Muñoz<sup>2,3,4</sup> e Márcio de Morisson Valeriano<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Pós-graduação em Sensoriamento Remoto;

<sup>3</sup>Bolsista da CAPES/CNPq – IEL Nacional - Brasil

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{viaguila; valerian}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This work aimed at the development of a simple approach to map topographic dominance from SRTM databases with basic resources of digital processing images in Geographical Information Systems (GIS) and to compare with map of soils. Dominance is a non-local topographic variable that expresses the altimetric distribution within a distance radius. The developed GIS methodology is based on variable size moving windows (“filters”) to perform analyses of the terrain height deviations in relation to an average plain between the maximum and minimum regional elevations. The test took place in São Carlos – Bragança Paulista, São Paulo State. Results (terrain classes defined as high-dominants and low-dominants) showed agreement with soil type distribution as mapped at the 1:100 000 scale. Topographic dominance was shown to be a potentially applicable qualitative factor for landscape classification and soil delimitation from SRTM databases. The method was effective for the automatic determination of high plains and flood terrains.

**Key words:** topographic dominance, soils, geoprocessing, SRTM, mapping.

**Resumo.** Este trabalho objetivou desenvolver um procedimento para mapear a distribuição da predominância topográfica a partir de dados SRTM, utilizando recursos básicos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e comparar este resultado com mapas de solos. A predominância é uma variável topográfica não-local que se baseia na análise da dispersão altimétrica encontrada em determinados raios de busca. A metodologia implementada em SIG se baseia no uso de janelas móveis de tamanho variável seguido de análises dos desvios da altitude com relação a um plano mediano, entre valores máximos e mínimos regionais. A área teste corresponde à região de São Carlos – Bragança Paulista, Estado de São Paulo. Os resultados (áreas classificadas como alto-predominante e baixo-predominante) mostraram-se associadas a classes de solo mapeadas na escala 1:100 000. Resultados indicaram a predominância topográfica como um fator qualitativo de aplicação potencial na classificação de unidades da paisagem e na delimitação de unidades de solo partir de dados SRTM. O método mostrou-se eficaz na determinação automática de planaltos e várzeas.

**Palavras chave:** predominância topográfica, solos, geoprocessamento, SRTM, mapeamento.

## 1. Introdução

A compartimentação do relevo para levantamento de solos tem sido explorada nas geociências, e difundida principalmente a partir do surgimento da fotopedologia e das geotecnologias. Wong, et al. (1977) propuseram o desenvolvimento de um conjunto de fatores topográficos quantitativos, os quais poderiam ser usados junto a técnicas estatísticas e recursos computacionais na identificação automática de diferentes tipos de solos. Briggs &

---

<sup>1</sup> Parte da pesquisa de mestrado do primeiro autor, desenvolvida no INPE com a orientação do segundo autor.

Shishira (1985) propuseram a definição de unidades geomorfológicamente homogêneas para o levantamento das propriedades do solo, concluindo que o nível de homogeneidade varia entre diferentes propriedades e diferentes unidades de medição. Brubaker et al. (1993) investigaram a extensão para a qual variariam numa encosta tanto as propriedades químicas quanto a textura do solo e encontraram significativas relações, atribuídas principalmente à erosão diferencial e a disponibilidade hídrica, entre a posição na encosta e a maioria das propriedades estudadas. Shary et al. (2002) desenvolveram um sistema de classificação dos conceitos de geomorfometria e a padronização de um conjunto de variáveis morfométricas; investigaram também as relações entre estas variáveis e as condições para o uso delas em estudos de solos e da paisagem.

Uma das características mais importantes das variáveis geomorfométricas é a natureza local ou não local delas. Segundo Shary et al. (2002), num dado ponto, as variáveis geomorfométricas locais estão definidas pela porção de terreno de tamanho fixo (não definido pelo terreno particular) mais próximo ao ponto. Estas delineiam as geoformas em relação à vizinhança. Já as variáveis geomorfométricas regionais (não locais) estão definidas pelas características particulares da área de estudo onde estas dependem da conexão ou a integração/acúmulo por segmentos de área entre os elementos (variáveis locais) dispersos no espaço geográfico, e do padrão de distribuição deles numa região.

Os recursos de análise de MDE (Modelo Digital de Elevação) disponíveis em SIG concentram-se em torno de variáveis geomorfométricas locais (declividade, orientação de vertentes etc.), passíveis de obtenção por operações de vizinhança, geralmente mediante o uso de janelas móveis (“filtros”) de dimensões 3x3 (pixels). A indisponibilidade destes recursos para análise de variáveis regionais deve-se, em parte, à variação de escalas de análise, que define o tamanho ideal de janela, o que depende das características particulares da área de estudo (ou dos limites do mapa); mas também se deve ao fato de representarem elementos de maior complexidade do que variáveis locais. Entre as variáveis regionais mais evidentes em estudos do meio físico estão o comprimento de rampa, a amplitude de vertentes (relevo interno), a área de captação hídrica e a densidade da drenagem.

A predominância topográfica é uma variável geomorfométrica regional pouco referenciada em estudos que utilizam geotecnologias. Refere-se à caracterização do predomínio altimétrico de uma região, relativo à distribuição dos desvios negativos e positivos em relação à mediatriz da altitude, no raio de abrangência da análise (Dent &

Young, 1981) (Figura 1). Segundo Pike (1988), a predominância se enquadra na categoria de variáveis geomorfométricas relacionadas à dispersão altimétrica, analisada em contexto não-local, o que implica numa análise que abrange uma área ou região.

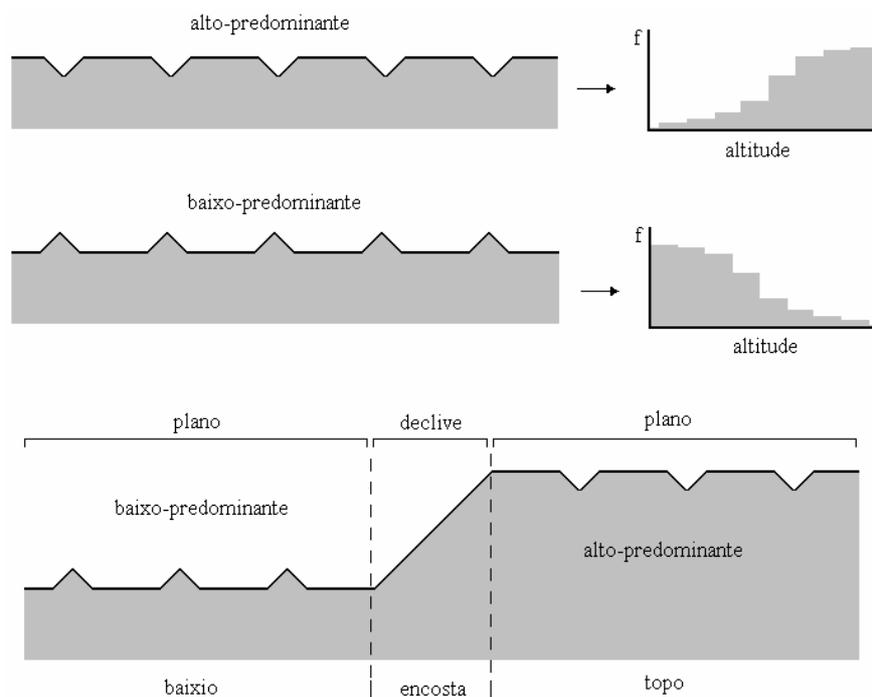


Figura 1 – Caracterização da predominância e sua aplicação na classificação de formas básicas do relevo.

As análises do relevo aplicadas aos levantamentos de solos são implicitamente organizadas em etapas de detalhamento crescente, partindo-se da estratificação do terreno em feições regionais que posteriormente serão analisadas em seus componentes locais. Nas primeiras etapas, a classificação das formas básicas de relevo (topos, terço superior, meia encosta, sopé e baixada, por exemplo) constitui-se, ao mesmo tempo, em uma meta incontornável e um desafio à abordagem por geotecnologias. A estratificação desses ambientes topográficos é uma condição fundamental para a utilidade das variáveis geomorfométricas locais nas etapas posteriores do mapeamento, as quais não indicam por si a ocorrência dos tipos de solos, embora constituam os elementos que definem os padrões efetivamente úteis nesse contexto.

No exemplo da Figura 1, as áreas planas podem ser classificadas em topos ou baixios a partir da suposição de que nos primeiros a dispersão altimétrica é dada pela dissecação, enquanto que nos últimos deve-se à presença de relevo residual ou testemunhos. Dessa forma, a predominância pode, em combinação com dados de declividade (ou outras

derivações locais), definir os topos, baixios e encostas. A partir desse ponto, pode-se avançar em detalhamento, dividindo a encosta, por exemplo, em função de sua curvatura vertical, para delineamento do sopé, meio encosta e terço superior. Nesse contexto, a possibilidade do cálculo da predominância a partir de dados digitais de elevação é uma perspectiva de grande interesse para estudos de solos nas primeiras etapas do mapeamento.

Atualmente, informações topográficas aplicadas em levantamentos de solos podem ser obtidas a partir de MDE, como por exemplo os dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), recentemente disponibilizados para toda a América do Sul. A viabilização do uso destes dados, em cobertura nacional, permite que se avalie e se desenvolva, de forma relativamente padronizada, seu potencial como subsídio ao mapeamento de solos em diferentes ambientes. As possibilidades práticas de tal evolução dependem de testes de desempenho sobre as metodologias de análise operacionalmente exequíveis.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para o cálculo da predominância topográfica a partir de dados SRTM, utilizando ferramentas de SIG, bem como comparar os resultados com a distribuição de classes de solo mapeadas na escala 1:100 000.

## **2. Materiais e métodos**

Os dados de altitude para o cálculo da predominância topográfica provieram da versão corrigida do MDE interferométrico SRTM, disponível para o Brasil na resolução 3 arc-seg (~90m) no formato \*.hgt, que pode ser acessada livremente no portal do projeto (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) ou diretamente no diretório público da NASA (<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/>) (JPL, 2006).

A área teste se localiza no Estado de São Paulo, envolvida pelas coordenadas ( $15^{\circ}22'S$ ,  $48^{\circ}W$ ;  $15^{\circ}23'S$ ,  $46^{\circ}30'W$ ), abrangendo as regiões de São Carlos, Araras, Moji-Mirim, Piracicaba, Campinas e Bragança Paulista. Consta-se dos planaltos e patamares da Bacia do Paraná, Depressão Paulista, Planalto de Amparo das faixas de dobramentos remobilizados, Planalto de Poços de Caldas, no escudo exposto, e uma pequena área da Depressão de Sapucaí, no Planalto do Alto Rio Grande. Esta região se caracteriza por modelados de acumulação fluvial, superfícies de aplanamento e dissecação, tanto homogênea quanto diferencial, em níveis de densidade e aprofundamento principalmente de leves a moderados (Brasil, 1983).



$Méd:\{(Máx + Mín)\div 2\}$ ). Dessa forma, as análises das cotas abrangidas pela janela móvel (máximos, mínimos, mediatriz etc.) se tornam passíveis de análises por recursos de sobreposição simples (*overlay*) entre os planos de informação formados. A partir da imagem original foram calculados os desvios com relação à mediatriz ( $Dev:\{MED - Méd\}$ ), por subtração, em nova sobreposição (Figura 3).

Sob as imagens classificadas foram aplicados filtros passa baixo tipo moda de tamanhos 3x3, 5x5 e 7x7, para suavização de bordas, operações de pós-processamento para simplificar a interpretação dos resultados. As três etapas do processamento digital para o mapeamento da predominância são apresentadas de modo geral no esquema da Figura 3.

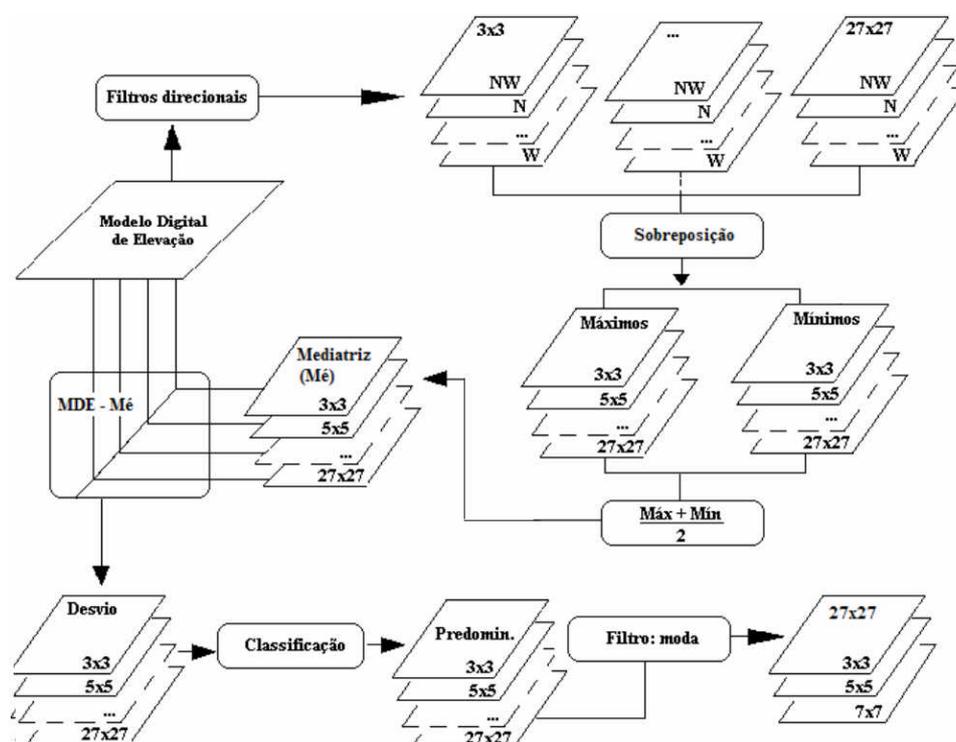


Figura 3. Processamento do Modelo Digital de Elevação no mapeamento da predominância topográfica.

Por fim, foi feita a interpretação visual sobre o mapa da predominância e o mapa de solos para identificar relações entre as unidades de mapeamento correspondentes.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Avaliações do mapeamento da predominância topográfica

A caracterização geomorfométrica utilizando janelas moveis sucessivamente maiores permite a análise multi - escala sem afetar o dado original. À medida que aumenta o tamanho da janela aumenta a área mínima de análise e consequentemente o valor da

propriedade geomorfométrica em um mesmo ponto. Isto explica as expressivas diferenças entre os mapas da predominância obtidos a partir da aplicação de janelas móveis de tamanhos variáveis sobre dados SRTM. Neste caso, uma janela de tamanho 3x3 representa uma área de 270m x 270m (72,9 km<sup>2</sup>) e outra de tamanho 27x27, uma área de 5904,9 km<sup>2</sup>.

A imagem obtida a partir da filtragem 3x3 (Figura 4-A) mostrou-se muito similar a representações da declividade, com baixo-predominantes em terrenos íngremes e vice-versa. Feições do relevo regional tornaram-se evidentes com aplicação de janelas maiores (5x5 em diante) (Figuras 4-B e 4-C). Já na imagem obtida a partir da filtragem 27x27 (Figura 4-D) é possível observar unidades da paisagem bem diferenciadas, como por exemplo, limites (formas) de tipos de solo nas cartas da área teste, na escala 1:100 000.

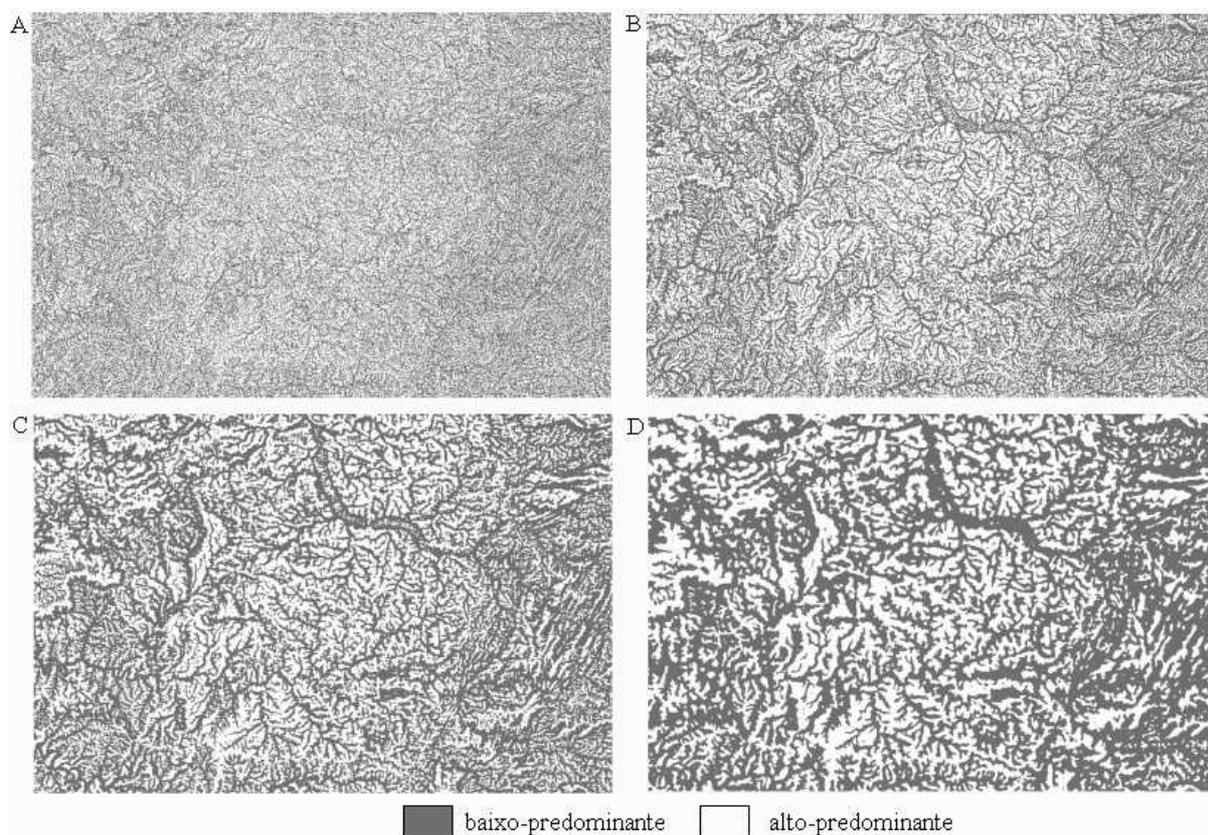


Figura 4 – Resultados do mapeamento da predominância com janelas móveis de dimensões 3x3 (A), 7x7 (B), 15x15 (C) e 27x27 (D).

### 3.2 Avaliações da relação solos – predominância topográfica

A Figura 5 ilustra a relação visual, em termos de forma, entre a predominância topográfica obtida como resultado da aplicação da metodologia aqui proposta (Figura 5B), elevação obtida a partir de dados SRTM (Figura 5-A), curvatura vertical obtida do

processamento de imagens SRTM no projeto TOPODATA (Valeriano, 2005) (Figura 5-C) e feições do solo mapeadas na carta de São Carlos, São Paulo (Prado, et al., 1981) (Figura 5-D). Observa-se que os terrenos alto-predominantes evidenciados (5-B) apresentam-se em altitudes variadas, sem que represente necessariamente elevações perceptíveis no MDE (5-A), como o patamar 1 (e 1'). Há feições alto-predominantes menos elevadas, sutilmente perceptíveis no MDE (2 e 2'), ao passo que há ainda aqueles em terrenos relativamente mais baixos, como os pontos 3 e 4.

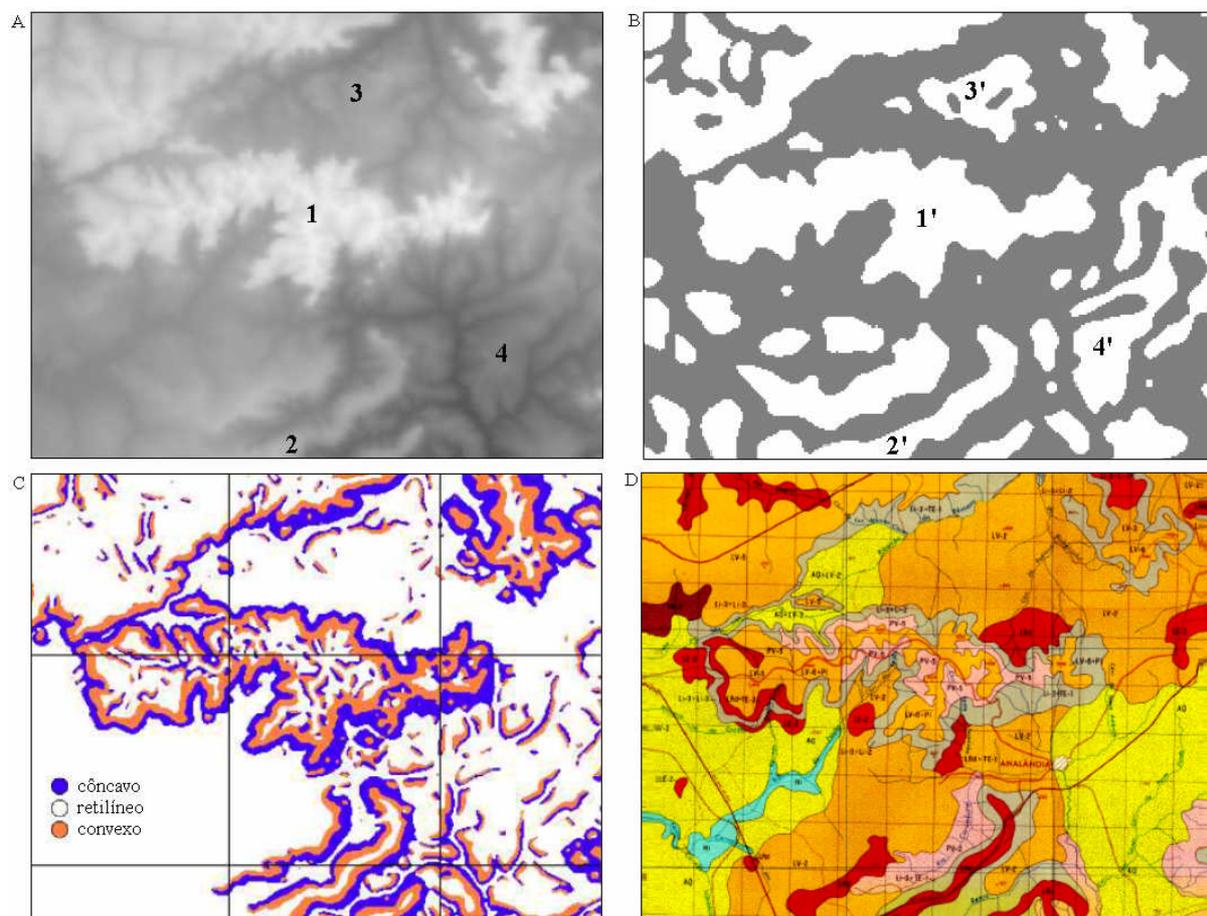


Figura 5 – Modelo digital de Elevação (MDE) codificado em níveis de cinza (A); mapeamento da predominância (legenda na Figura 4) (B); mapeamento da curvatura vertical (adaptado de Valeriano, 2005) (C); e detalhe de mapa pedológico 1:100 000 da mesma área (adaptado de Prado et al., 1981) (D).

Numa observação conjunta dos mapas da Figura 5, verifica-se que as feições alto-predominantes (Figura 5-B) evidentes no MDE (1 e 2) (Figura 5-A) estão relacionadas com associações de solos distintas de sua circunvizinhança (Figura 5-D). Na área detalhada, estas

feições têm, nas encostas envolventes, associações com predomínio e solos litólicos (Figura 5-D) que acompanham faixas de convexidades (Figura 5-C). Estas convexidades, porém, quando presentes em baixo-predominantes não tiveram a mesma expressão no mapa de solos. Ao mesmo tempo, áreas classificadas como alto-predominantes em terrenos pouco elevados (exemplos 3 e 4) não mostraram correspondência com as manchas do mapeamento 1:100 000.

Nestes casos, é possível tanto que os resultados estejam mostrando mais detalhes do processo em si (dimensões das janelas de cálculo e do interflúvio), quanto que estejam associados a mudanças edáficas que ficaram sem registro no mapeamento.

#### **4. Conclusões**

1. O mapeamento de solos a partir da interpretação do fator relevo pressupõe a estratificação do terreno em feições geomorfológicas não locais, para caracterização de unidades regionais (por exemplo ordens de solos), e a posterior classificação destas em elementos geomorfológicos locais, para análise detalhada;

2. Variáveis topográficas não-locais (regionais), podem ser calculadas a partir de MDE através da automatização de operações de processamento digital de imagens em ambiente SIG;

3. A extração de variáveis geomorfológicas regionais, como a predominância, a partir de um MDE requer testes de aplicação de janelas móveis de tamanhos variáveis. O tamanho de janela apropriado dependerá da escala dos dados de altitude e das dimensões da feição de interesse em relação ao contexto do relevo regional;

4. A janela de tamanho 27x27 trouxe resultados promissores para o mapeamento da predominância da região de São Carlos – Bragança Paulista, a partir do conjunto de dados utilizado (MDE SRTM-90m);

5. O mapeamento digital da predominância topográfica mostrou-se potencial na estratificação do relevo em escalas regionais, uma vez que foi possível delimitar patamares e várzeas presentes na área de estudo;

6. As relações observadas entre a predominância topográfica e mapas publicados de solos da área teste permitem reconhecer a importância e potencial contribuição desta variável na compartimentação do relevo em unidades regionais, que em conjunto com variáveis locais podem contribuir na pré-amostragem (antes das verificações de campo e laboratório) de unidades de solos para mapeamento em escalas detalhadas.

## 5. Referências bibliográficas

Brasil, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, Divisão de Publicações. (1983). **RADAMBRASIL: Levantamento de recursos naturais**. 780p. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória, vol. 32. 6 mapas. CDD 333.70981/ CDU 330.15(81).

Briggs, D. J.; Shishira, E. K. (1985) Soil variability in geomorphologically defined survey units in Albudeite area of Murcia Province, Spain. In: JUNGERIUS, P. D. (ed.) **Soils and Geomorphology**. Germany, Catena Verlag, Supplement 6: 69-84.

Brubaker, S. C.; Jones, A. J.; Lewis, D. T.; Frank, K. (1993) Soil properties associated with landscape position. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, 57(2):235-239.

Dent, D., Young, A. (1981) **Survey and Land Evaluation**. London: George Allen & Unwin (ed.). 278 p.

Eastman, J. R. (1995) **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University. 440p.

JPL (2006). **Shuttle Radar Topography Mission: the mission to map the world**. NASA, NGA, JPL, DLR, ASI. Pasadena, California: California Institute of Tecnology. ftp público. Disponível em: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/>. Acesso em: 21 fev. 2008.

Oliveira, J.B. (1992) **Carta pedológica semi-detalhada de Moji – Miririm (SF.23-Y-A-III), 1:100 000**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro S.A.

Oliveira, J.B., Menk, J.R.F., Barbieri, J.L., Rotta, C.L., Tremocoldi, W. (1981) **Carta pedológica semi-detalhada de Araras. (SF.23-Y-A-II), 1:100 000**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro S.A.

Oliveira, J.B., Prado, H. (1989) **Carta pedológica semi-detalhada de Piracicaba (SF.23-Y-A-IV), 1:100 000**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro S.A.

Pike, R. (1988) The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**. Springer Netherlands, 20(5):491-511.

Prado, H. Oliveira, J. B., Almeida, C.L.F. (1981) **Carta pedológica semi-detalhada de São Carlos (SF.23-Y-A-I), 1:100 000**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro S.A.

Shary, P. A.; Sharaya, L. S.; Mitusov, A. V. (2002) Fundamental quantitative methods of land surface analysis. **Geoderma**. Elsevier 107(1-2):1-32.

Valeriano M.M. (2005) Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. Goiânia, Anais:3595-3602. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44>>. Acesso em: 23 ago. 2007.

Wong K. W., Thornburn, T. H., Khoury, M. A. (1977) Automatic soil identification from remote sensing data. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, 43(1):73-80.