

## Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA

Márcio de Morisson Valeriano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
valerian@dsr.inpe.br

**Abstract.** The TOPODATA project aims at the construction of a national database with elevation and morphometric variables calculated from the available SRTM data for Brazil. Data processing was designed to perform interpolation of the original SRTM-90m data by kriging (to 1" or nearly 30m resolution), followed by morphometric analyses of the produced Digital Elevation Model (DEM), through GIS-based algorithms. A first conception of this database includes digital maps (images) of the local variables height, slope angle, slope aspect, plan curvature, profile curvature and a talveg-divide delineation for drainage analyses and watershed partition. In a second conception, further developments are expected to bring more complex variables, such as slope length, caption area and other non-local terrain descriptors. Preliminary tests, evaluated through transects, visualizations and morphometric analyses in known watersheds, showed the usefulness of SRTM-90m data at relatively detailed scales after the developed pre-processing and analysis. Finally, the conditions for a proper development of this database in national full coverage are briefly discussed.

**Palavras-chave:** SRTM, banco de dados, morfometria, database, morphometry.

### 1. Introdução

A identificação de formas de terreno é tradicionalmente feita por julgamentos em termos qualitativos. Métodos paramétricos são também possíveis e de grande interesse, pois fornecem uma base mais objetiva e uniforme para a identificação de sistemas terrestres. Estes requerem a medição e o mapeamento de variáveis do relevo como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes etc., que são combinados para identificar elementos de terreno, que são por sua vez combinados em padrões de terreno (Dent & Young, 1981). A adoção dos métodos tradicionais de levantamento é justificada pela demora e pelo custo dos métodos paramétricos. No entanto, alternativas como imageamento orbital e geoprocessamento podem reduzir substancialmente estes custos, senão com a mesma qualidade dos métodos tradicionais, ao menos com um grau aceitável de concordância com aqueles.

Um fator importante a favorecer a inclusão do relevo na identificação e na análise de sistemas terrestres advém de recentes coletas de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto. A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul. Grande parte do território nacional é provido de mapeamento em escalas demasiadamente generalizadas para várias utilizações da informação topográfica. Por este aspecto, a resolução de 90m dos dados SRTM representa um avanço importante em relação às alternativa até então disponíveis.

A utilização de MDE nesse contexto recai principalmente sobre a obtenção de variáveis derivadas da altimetria (declividade, o exemplo mais freqüente). A obtenção destas variáveis é feita principalmente com operações de vizinhança (declividade, orientação e curvatura, por exemplo) e, em alguns casos, funções de conectividade (comprimento de rampa e área de captação, por exemplo).

A aplicação do geoprocessamento à abordagem paramétrica para compreensão do meio físico (Wong et al., 1977; Band, 1986; Pike, 1988; Moore et al, 1993; Giles & Franklin, 1997;

Wang, 1998; Wladis, 1999; Mizukoshi & Aniya, 2002) vem mostrando avanços contínuos desde um período anterior às bases obtidas por sensores remotos. Tipicamente, estas trazem consigo as limitações intrínsecas do sistema e estão sujeitos a uma série de fatores que alteram a relação de veracidade para com a paisagem existente. Seu uso, portanto, requer o desenvolvimento de processos de pré-tratamento, para que atendam, ou que se aproximem, à demanda técnica da modelagem do relevo por SIG e sua integração com outras informações. Após o pré-tratamento, uma avaliação dos dados quanto ao seu potencial e limitações é oportuna antes da integração em modelos mais complexos, para que se possa estimar a precisão geral dos resultados finais de cada estudo. A partir de uma apreciação preliminar dos dados SRTM, foi visto que a interpolação por krigagem trouxe ganhos sensíveis na qualidade dos modelos, permitindo uma série de aplicações antes prejudicadas por características dos dados originais (Valeriano, 2004). Mais do que um procedimento invariável, esta metodologia requer um trabalho de pesquisa intenso previamente à sua aplicação.

## 2. Desenvolvimento

As imagens foram copiadas da rede mundial de computadores diretamente do endereço da USGS (United States Geological Survey), em que permanecem disponíveis sob a resolução de 3", ou cerca de 90m (<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>). Foram capturados dados SRTM de todo o território nacional em segmentos correspondentes às folhas 1:250.000, de 1° de latitude por 1,5° de longitude. A preparação dos dados consistiu na modificação do MDE SRTM original para um novo MDE, com características desejáveis. Entre as modificações pretendidas, listam-se: a resolução melhorada, de 1" (~30m); a remoção das falhas; redução de artefatos; e distribuição da aleatoriedade. Os dados foram tratados desde a imagem (TIFF) original até o MDE segundo o fluxo abaixo (**Figura 1**).

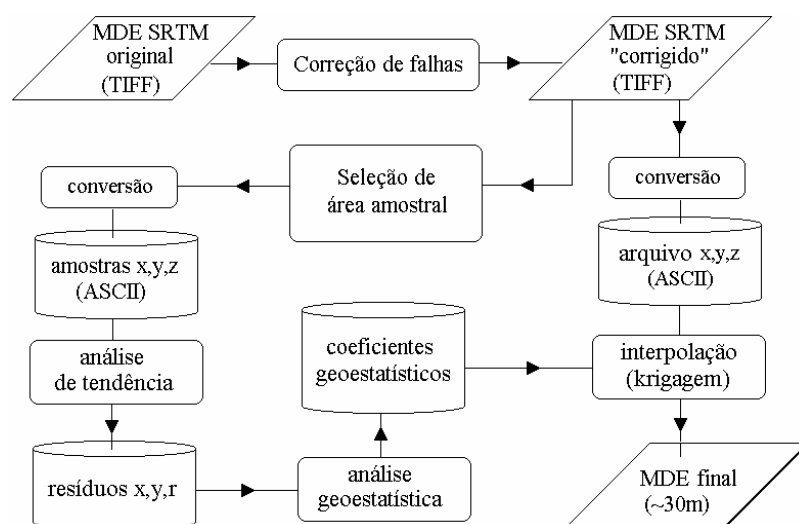


Figura 1 – Fluxo de tratamento dos dados SRTM para a elaboração do MDE.

A krigagem dos dados SRTM seguiu basicamente o mesmo fluxo daquele exposto em Valeriano (2002a), em que as cotas digitalizadas (com suas posições geográficas) constituíam amostras para análises geoestatísticas e posteriormente para a interpolação. Além da demanda operacional, resta um importante obstáculo de natureza técnico-científica, que é a padronização dos coeficientes que controlam esta forma de interpolação. Os modelos testados mostraram-se passíveis de unificação isoladamente para os Estados do Acre e São Paulo (Valeriano, 2004), este de topografia bem diversificada. Contudo, não se conseguiu conciliá-

los entre si com um único modelo de krigagem. Há várias alternativas de padronização dentro de segmentos significativos do ponto de vista político-administrativo (Estados, regiões), ambientais (biomas) ou mesmo estratégico (vocação econômica, agrícola etc.), o que vai requerer testes que contemplem os diversos domínios morfoclimáticos brasileiros. Por esta razão foram envolvidos pesquisadores de diversos centros de pesquisa espalhados pelo país. O desenvolvimento metodológico será balizado pelo uso almejado por estes pesquisadores, complementado pelos respectivos relatos sobre o desempenho dos dados em cada aplicação.

Propõe-se que o usuário tenha à sua disposição: dados originais (3''), MDE krigados (1'') e planos de informação das variáveis morfométricas, calculadas sob métodos automáticos devidamente avaliados, resultando numa estrutura de utilização por três tipos de usuários. Nesta hipótese, atende-se o maior grupo de usuários (Usuário A), que pode utilizar os dados morfométricos diretamente do banco de dados, sem que seja necessário o domínio de nenhuma das etapas que precedem a obtenção das variáveis. Um grupo menor de usuários (Usuário B) pode aplicar os modelos preparados em seus próprios cálculos para obtenção das mesmas variáveis ou de outras, apropriadas a finalidades específicas que não são atendidas com as variáveis disponibilizadas. Um terceiro grupo (Usuário C) pode fazer uso dos dados originais, com metodologia própria de criação do MDE e de análise. Para iniciar este processo, uma primeira montagem requer o estabelecimento de regiões passíveis de uniformização das características de tratamento. É necessário determinar o número mínimo de estratos sob o qual a maior parte das características locais estejam representadas de modo aceitável. Os primeiros testes para isso se baseiam nas análises geoestatísticas, a distribuição dos tipos agrupáveis de semivariogramas e a verificação dos resultados de sua aplicação. Estes testes já deverão ser precedidos e acompanhados pela observação de um grupo de especialistas das áreas temáticas de reconhecida aplicação dos dados topográficos em escala cartográfica, como geomorfologia, geologia, hidrografia e pedologia, por exemplo (**Figura 2**).

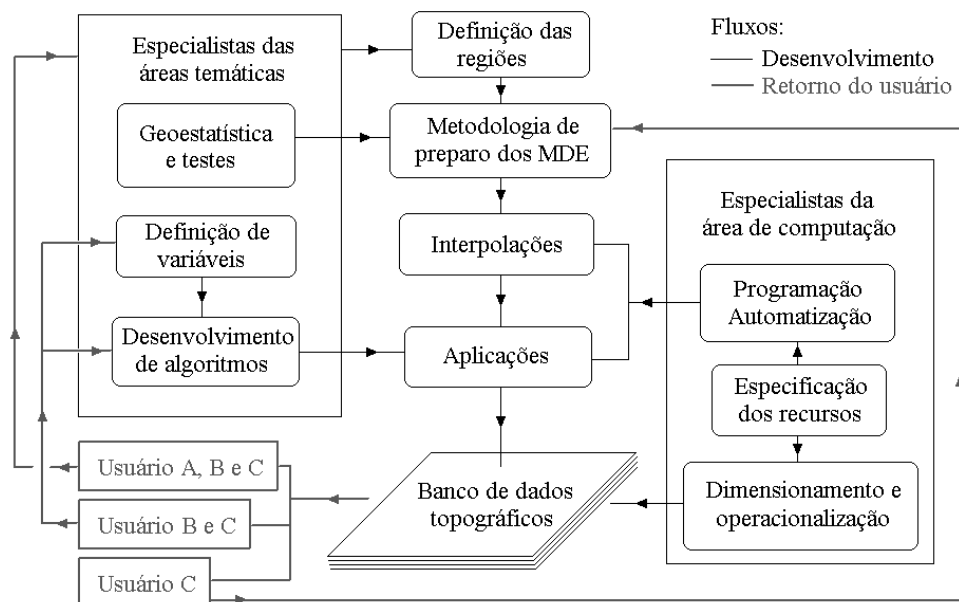


Figura 2 – Ciclo de desenvolvimento proposto para o banco de dados topográficos.

É necessário uma convergência do atendimento das necessidades de diferentes áreas para um maior grau de sucesso na uniformização metodológica. Nesta etapa de consenso, também se deve estabelecer quais variáveis devam estar disponíveis, a princípio, e uma ordem de prioridade entre estas, o que é muito importante para uma decisão diante do limite de recursos

finitos. As questões referentes a aspectos computacionais, como formas de armazenamento e transmissão dos arquivos, o dimensionamento do equipamento e a programação dos processos automatizáveis, devem ser atendidas em paralelo, por especialistas da área de computação.

Entre as variáveis básicas locais, que são obtidas com operações de vizinhança (Valenzuela, 1991), a declividade (Valeriano, 2002b), orientação de vertentes, curvatura horizontal (Valeriano & Carvalho Júnior, 2003), curvatura vertical (Valeriano, 2003) e identificação de canais de drenagem e divisores de água encontram-se providas de algoritmos para sua extração. Estes planos podem ser operados adiante para fornecer variáveis não-locais, como a amplitude, distância em relação a drenagem, distância em relação a divisores de água, medidas de densidade de drenagem, que podem, por sua vez, ser combinados para fornecer variáveis de maior significado físico, como a detecção de várzeas e patamares e mapeamento de índices topográficos (Moore et al., 1993). Incluem-se também entre as variáveis não-locais a área de captação e o comprimento de rampa, obtidas com operações de conectividade (Valenzuela, 1991), que requerem algoritmos mais complexos do que as variáveis locais.

### 3. Resultados

A **Figura 3** apresenta em detalhe a comparação entre o MDE original e o krigado, em área de alta densidade de drenagem. Nessas condições, a frequência das feições topográficas e a resolução espacial original guardam entre si uma proporção de 2:1 a 3:1, que impossibilita a percepção de relevo do modelo original. No detalhe ampliado, em escala aproximada 1:50.000, enquanto o modelo original apresenta um padrão aleatório, o modelo tratado permite a interpretação de uma rede de drenagem e um relevo coerentes.

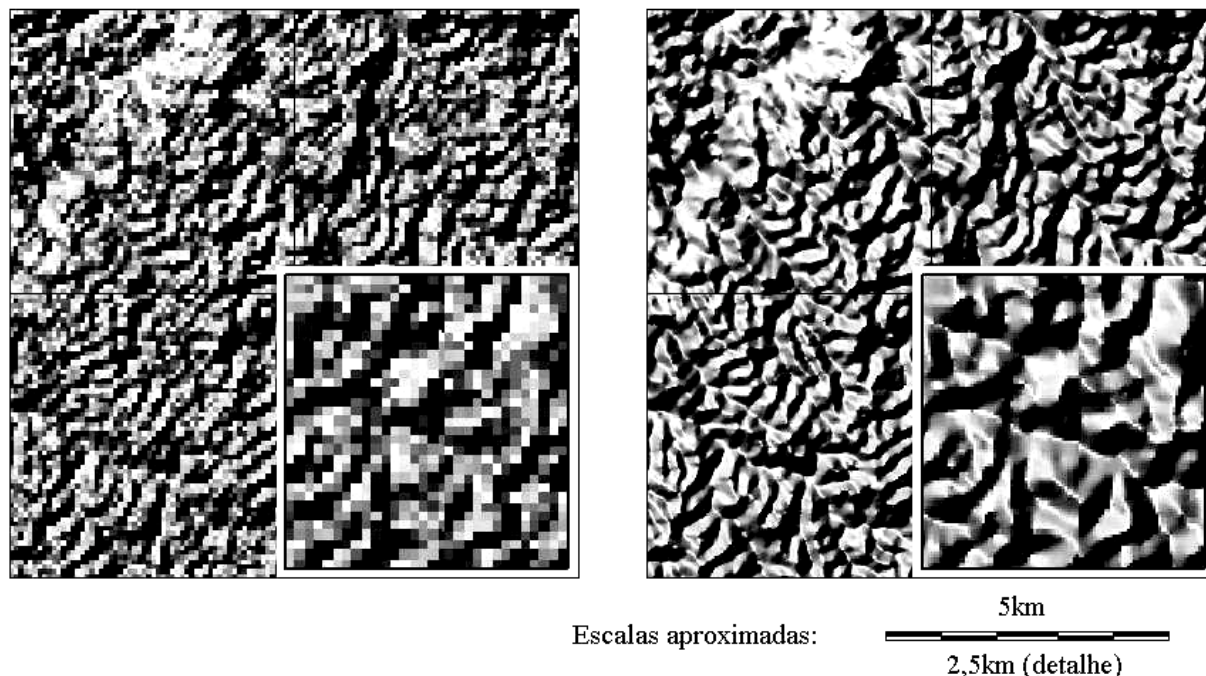


Figura 3 - Dados SRTM originais (esq.) e tratados com krigagem (dir.) sobre área de alta densidade de drenagem (Acre).

Atestados os ganhos de qualidade visual e descritiva dos modelos quando tratados com técnicas geoestatísticas, técnicas digitais de manipulação da informação topográfica foram testadas. Na **Figura 4** estão apresentados os modelos da área de Ubatuba, elaborados a partir

de dados SRTM e de dados digitalizados de cartas 1:50.000 (IGC), sob um processo de visualização (ADD) extremamente sensível às características do modelo (Valeriano, 2002a).

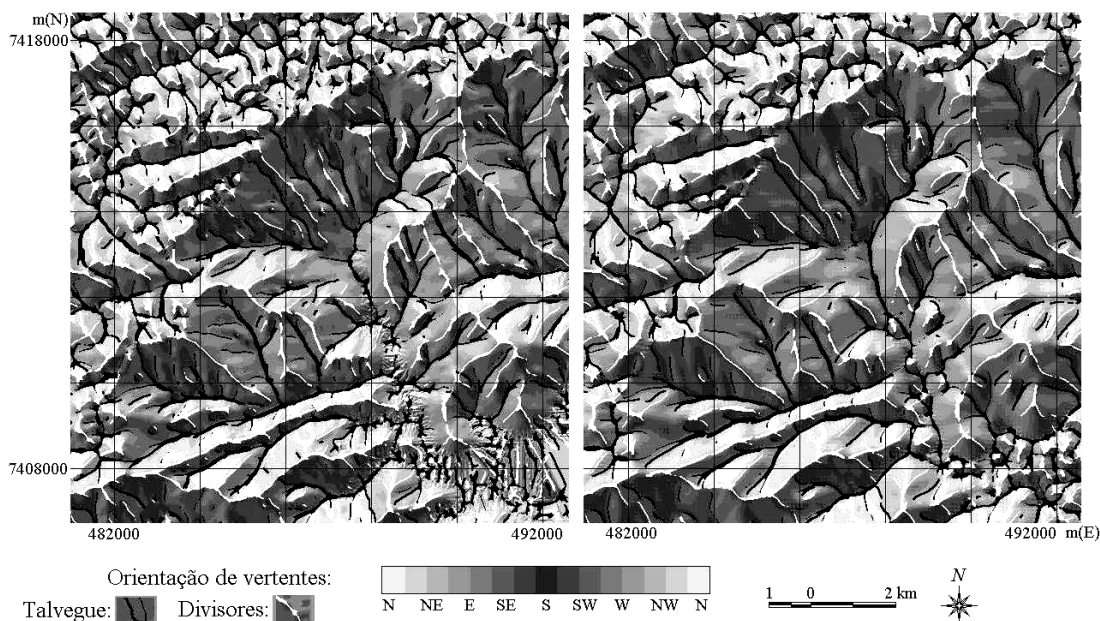


Figura 4 – Comparação (processo ADD) entre dados do IGC 1:50.000 (esquerda) e dados SRTM, resolução de 20m. Área de Ubatuba, SP.

Os mapas foram obtidos com os mesmos processos e formas de apresentação, após a conversão de coordenadas do modelo SRTM de lat/long para UTM. Entre as simplificações adotadas neste teste, ressalta-se que não foram observadas as diferenças de *datum* vertical e horizontal entre as fontes de dados, além de ter sido necessário um pequeno deslocamento sobre o modelo SRTM após sua preparação, para a perfeita sobreposição das feições (divisores e drenagem) evidenciadas pelo processo ADD. Analogamente, a **Figura 5** apresenta comparações entre as mesmas áreas na forma de diagramas de dispersão.

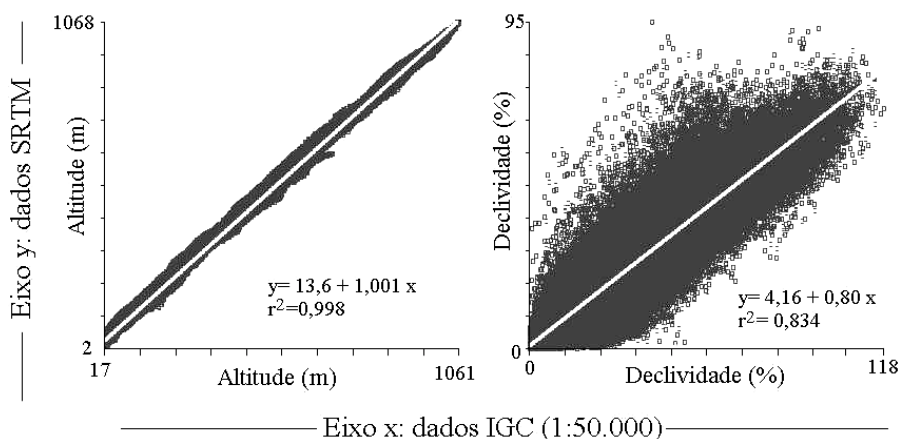


Figura 5 - Dispersão de altimetria a declividade entre dados da SRTM e da cartografia (IGC 1:50.000). MDE com resolução de 20m. Área de Ubatuba.

O coeficiente angular da equação de regressão, associado ao coeficiente de regressão (ambos muito próximos a 1,0), indica que a altimetria do modelo SRTM guarda alta correlação com aquela registrada pelo IGC em cartas 1:50.000. A diferença sistemática, dada



pelo coeficiente linear de 13,6m corresponde à diferença local de datum vertical (IGC: marégrafo de Imbituba; SRTM: WGS84). A declividade constitui um teste mais rigoroso, pela capacidade dos cálculos derivativos de evidenciar estruturas que se apresentam sutis na variável de primeira ordem (i. e., altimetria). Na forma de classes de declividade, estas apresentaram poucas diferenças em sua distribuição geral. Mas há ao menos duas fontes principais de diferenças, responsáveis pela dispersão da declividade (**Figura 5**), que são as diferenças de resolução (horizontal e vertical) e o próprio desempenho do algoritmo de declividade, que varia em função de características do MDE. No primeiro caso, o registro de manchas detalhadas de classes de declividade dos dados SRTM estão limitados ao detalhamento possível sob uma resolução de 90m, o que se faz notar principalmente nas classes mais íngremes. A resolução vertical dos dados corresponde a uma vantagem inversa, pois os dados SRTM permitem o registro de variações (1m) que ocorrem dentro de um mesmo intervalo de equidistância vertical. Desse modo, a declividade das áreas planas, como o caso da planície litorânea, foi melhor estimada com estes dados do que com dados cartografados em curvas de nível. Ao contrário desses condicionantes intrínsecos, o desempenho do algoritmo de declividade pode ser modificado através de adaptações do programa em questão, de modo que o resultado sobre o modelo SRTM seja o mais próximo possível daqueles obtidos com maior controle.

A **Figura 6** apresenta uma amostra dos planos básicos de informação morfométrica local projetados para o banco de dados, sob exame detalhado em uma pequena microbacia localizada na região amazônica (rio Asu, afluente do rio Cuieiras, afluente do rio Negro).

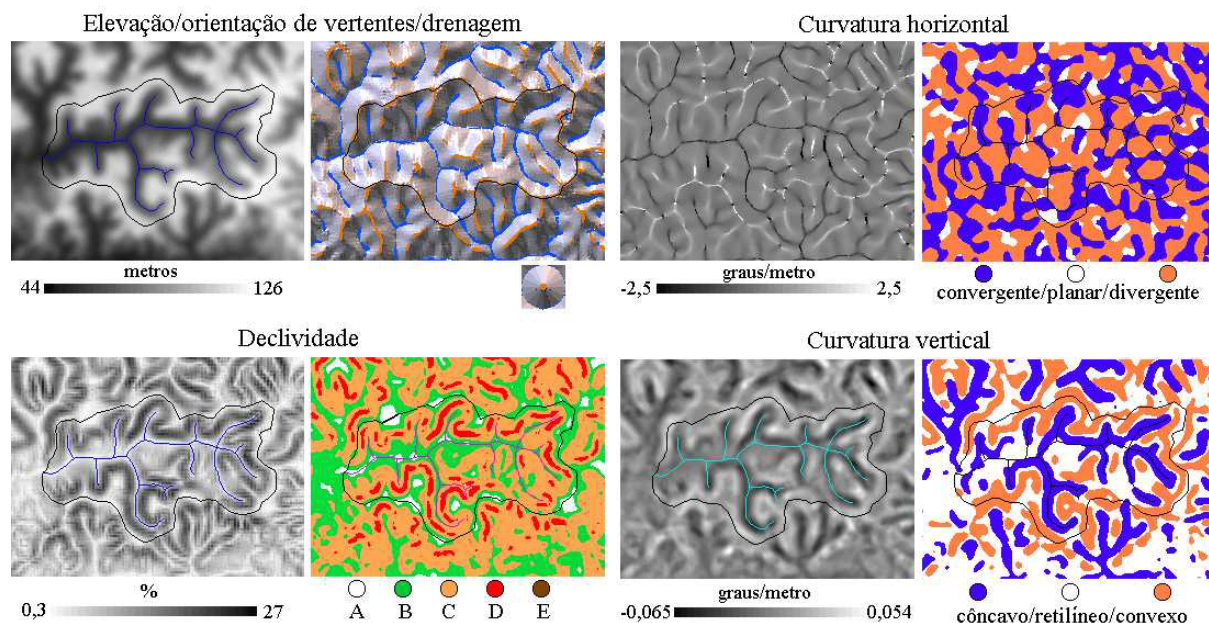


Figura 6 – Resultados da análises morfométricas locais de uma microbacia.

#### 4. Perspectivas e impactos esperados

As aplicações esperadas variam desde a cartografia sistemática de informações básicas (solos, drenagem etc.) até cartografia temática voltada a modelos específicos, conforme a capacidade de atendimento das variáveis topográficas às demandas apresentadas. Das demandas gerais mais evidentes, ressalta-se que o mapeamento de solos se mostra uma das frentes de potencial de contribuição mais imediata, vistas as relações observadas entre diversas variáveis morfométricas e mapas publicados de solos, aliadas à importância dos

aspectos pedológicos nos estudos do meio físico. Por exemplo, na **Figura 7**, terrenos com curvatura vertical convexa mostraram-se diretamente associados a solos rasos (Li - Litólicos) da Folha de São Carlos (Prado et al., 1981). Evidentemente, este tipo de associação deve ser estabelecido localmente em cada região sob estudo, em função de variações climáticas e de material parental. Independente dessas particularizações, a compartimentação topográfica dada pelas diferentes variáveis morfométricas traz uma considerável redução na variabilidade dos atributos de solo dentro de cada unidade homogênea de relevo (Briggs & Shishira, 1985).

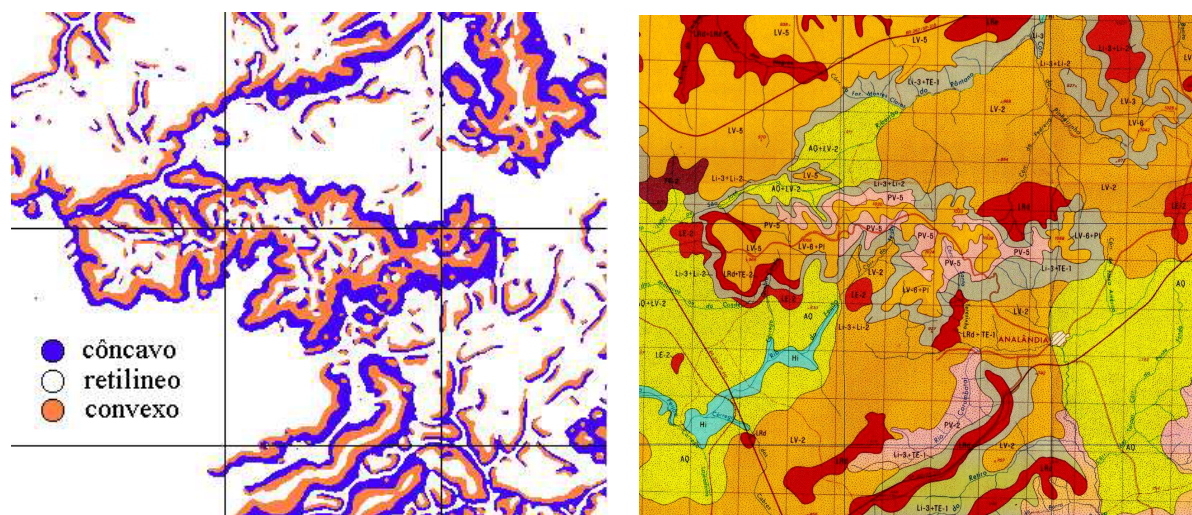


Figura 7 – Classes de curvatura vertical e de solos (folha 1;100.000, São Carlos, SP).

Estes efeitos edáficos, quando associados a efeitos climáticos, têm importante potencial para o subsídio ao estudo de efeitos topográficos voltado ao mapeamento de tipos florestais (Florinsky & Kuryakova, 1996). A disponibilização de planos de informação morfométrica será um fator decisivo na elaboração de modelos da relação entre a vegetação natural e o relevo. O mesmo pode ser preconizado para estudos e mapeamentos climáticos, em que são reconhecidos estratos distintos de dinâmica atmosférica devido à compartimentação do relevo. A estratificação dos processos de preparação dos dados climáticos em grandes domínios geomorfológicos desde as análises preliminares otimiza a capacidade descritiva dos planos de informação produzidos (Goovaerts, 2000; Wotling et al., 2000).

## 5. Considerações finais

Foram apresentadas as premissas fundamentais do projeto TOPODATA:

A extensão do território nacional sob carência de mapeamentos, as facilidades atuais de tratamento digital de dados topográficos e a recente disponibilidade de modelos digitais de elevação com ampla cobertura configuram uma situação interessante para a utilização de métodos paramétricos de análise do relevo. A evolução do uso de dados topográficos em estudos do meio físico deve se intensificar à medida que bases de dados se tornarem disponíveis e mais facilmente incorporados no fluxo dos trabalhos de pesquisa ou da cadeia produtiva. Tais ganhos estão condicionados sobretudo às possibilidades de análise dos recursos existentes e das características dos dados SRTM nas diferentes situações de relevo.

O delineamento de pré-amostragem para levantamento de aspectos diversos da paisagem trará também ao sensoriamento remoto (orbital e multi-espectral) maiores possibilidade de aplicação, visto que inferências ocasionais sobre pequenas áreas caracterizadas em campo podem assim ter sua distribuição espacial definida em compartimentos topográficos. A isto

soma-se uma ampliação do arcabouço metodológico dos estudos do meio físico que envolvem sensoriamento remoto orbital, o que eleva o nível de aplicação das informações inseridas a partir do imageamento por satélites.

A participação consultiva de pesquisadores que lidam com modelagem do relevo por geoprocessamento será fundamental para a convergência dos avanços e das demandas individuais em prol de um ganho coletivo de conhecimento do território nacional.

## Referências

- Band, L. E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water Resources Research**, v.22, n.1 p. 15-24, 1986.
- Briggs, D. J.; Shishira, E. K. Soil variability in geomorphologically defined survey units in the Albudeite area of Murcia Province, Spain. In: Jungerius, P. D. (ed.). **Soils and geomorphology** (Catena supplement no 6). 1985. cap. 2, p.69-84.
- Dent, D.; Young, A. **Soil Survey and Land Evaluation**. London: George Allen & Unwin (Ed.), 1981. 278p.
- Florinsky, I. V.; Kuryakova, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v. 27, p. 123-141, 1996.
- Goovaerts, P. A. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology** V. 228, n.1-2, p.113-129. 2000.
- Mizukoshi, H.; Anyia, M. Use of contour-based DEMs for deriving and mapping topographic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.68, n.1, p.83-93, 2002.
- Moore, I. D.; Gessler, P. E.; Nielsen, G. A.; Peterson, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 2, p. 443-452, 1993.
- Pike, R. The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, v. 20, n.5, p.491-511, 1988.
- Prado, H.; Oliveira, J. B.; Almeida, C. L. F.; **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula de São Carlos. Campinas, EMBRAPA/CPA/IAC, 1981. Mapa, escala 1:100.000.
- Valenzuela, C. R. Data analysis and models. In: Belward, A. S.; Valenzuela, C. R. **Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries**. Euro Courses: Remote Sensing, Netherlands: Kluwer, 1991. v.1, cap. 18, p. 335-48.
- Valeriano, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.
- \_\_\_\_\_. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**, São José dos Campos, SP INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.
- \_\_\_\_\_. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736). 54p. 2002a.
- \_\_\_\_\_. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. **Espaço e Geografia**, v.5, n.1, p.69-85, 2002b.
- \_\_\_\_\_.; Carvalho Júnior, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n.1, p.17-29, 2003.
- Wang, X.; Yin, Z.-Y. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. **Journal of Hydrology**, v.210, p.775-786, 1998.
- Wladis, D. Automatic lineament detection using Digital Elevation Models with second derivative filters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.65, n.4, p.453-458, 1999.
- Wong, K. W.; Thornburn, T. H.; Khoury, M. A. Automatic soil identification from remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, n.1, p.73-80, 1977.
- Wotling, G.; Bouvier, C.; Danloux, J.; Fritsch, J. –M. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. **Journal of Hydrology**, v.233, n.1, p.86-101. 2000.