

TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional

Márcio de Morisson Valeriano¹
Dilce de Fátima Rossetti^{1,2}
Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{valerian; rossetti; gurgel}@dsr.inpe.br
²Bolsista do CNPq

Abstract. The TOPODATA project aimed at the construction of a national database with elevation and geomorphometric 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 geomorphometric analyses of the produced Digital Elevation Model (DEM), through GIS-based algorithms. This database included digital maps (images) of the basic local variables height, slope angle, slope aspect, plan curvature, profile curvature and a thalweg-divide delineation for drainage analyses and watershed partition. This development was based on two research components concerning to DEM processing, namely resampling and derivation. In the first component, the selection of a geostatistical set for a uniform interpolation to perform kriging on diverse topographic conditions was conducted among regionally pre-selected sets, which were tested on 40 sites distributed throughout the litho-structural provinces of the Brazilian territory. Derivation procedures were adapted from previously developed algorithms designed to perform the basic derivations of DEM through geometrical approach, digitally simulating the measurement of the topographic variables according to their theoretical concepts. 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.

Palavras-chave: SRTM, geoprocessamento, modelo digital de elevação, topografia, mapas.

1. Introdução

A oferta de dados da SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para a América do Sul, em meados de 2003, promoveu uma popularização do uso de dados topográficos em estudos de geoprocessamento. Ao mesmo tempo, as facilidades do trabalho em ambiente digital ajudaram a disseminar a sensação de que os progressos no conhecimento do território passariam a ser imediatos, uma vez que dados de elevação e algoritmos de SIG para seu tratamento estão acessíveis. De cálculos controlados de variáveis geomorfométricas, depreende-se que, além dos próprios métodos intrinsecamente, intervenções anteriores ou posteriores ao cálculo afetam drasticamente a sensibilidade dessas derivações e sua correlação com dados medidos. Como consequência indireta, os resultados de análises digitais só serão comparáveis quando a preparação dos modelos de elevação e o processamento das derivações forem feitos sob condições padronizadas. Os dados SRTM representam parte da solução deste problema devido à sua cobertura por todo o continente sob condições uniformes de aquisição e pré-processamento. Esta condição relativamente recente motivou a criação de um banco de dados topográficos unificado por todo o território nacional. À medida que os resultados se tornam disponíveis e incorporados no fluxo dos trabalhos de pesquisa ou da cadeia produtiva, espera-se que sua utilização intensifique a demanda técnica em abrangência, nível e qualidade. Esta iniciativa foi planejada, desde sua concepção, (Valeriano, 2004, Figura 4.20) a se desenvolver num fluxo cíclico para permitir sua constante atualização. Pode-se sintetizar um ciclo de tratamento dos dados em duas etapas principais: o refinamento dos dados SRTM e a derivação do Modelo Digital de Elevação (MDE) formado (Figura 1).

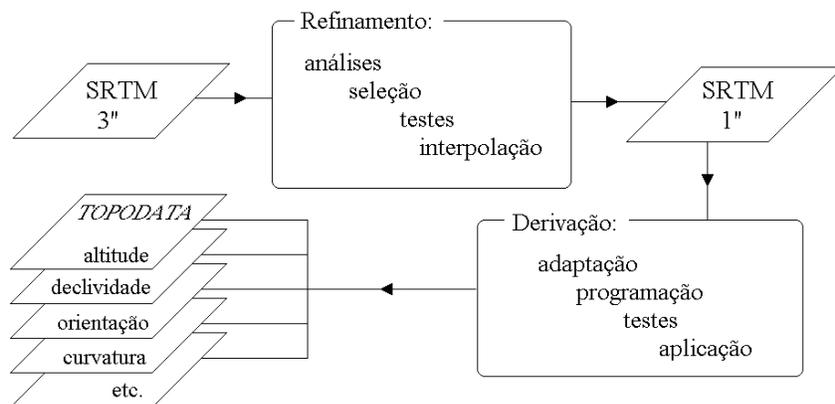


Figura 1 – Fluxo geral de tratamento dos dados

A etapa de refinamento consiste na interpolação dos dados correspondentes ao MDE original da SRTM, pelo método da krigagem (Landim, 2003), que leva em conta coeficientes geoestatísticos, provenientes da análise da variabilidade espacial dos dados. A derivação consiste no cálculo de variáveis topográficas, ou geomorfométricas (Shary et al., 2002), que expressam maior significado físico do que a altimetria isoladamente. Essas derivações são calculadas por operações diferenciais na vizinhança de cada ponto analisado, feitas em SIG com aplicação de janelas móveis, essencialmente. Tanto o refinamento como a derivação foram objetos de extensa pesquisa de observação, análises e testes, conduzida ao longo de projetos de pesquisa regionais em abrangência, conforme outra característica da estratégia preconizada de desenvolvimento. No caso do refinamento, a análise conjunta de tais projetos permitiu que se unificassem critérios para a seleção de um único conjunto de coeficientes geoestatísticos para desempenhar sob as condições amplamente variáveis encontradas por todo o Brasil. No caso da derivação, o desempenho dos cálculos varia expressivamente conforme os métodos e as condições de sua aplicação. Embora existam recursos digitais disponíveis para as derivações, os métodos aplicados foram desenvolvidos de modo artesanal, com programas de lote, para permitir sua adaptação a condições desejáveis de desempenho, diante das características do MDE a ser refinado. Este trabalho apresenta o banco de dados geomorfométricos locais do território nacional - TOPODATA – a partir das componentes de pesquisa envolvidas no seu desenvolvimento.

2. Desenvolvimento

Para o refinamento, os dados das imagens SRTM foram tratados como amostras definidas pela posição nominal (x,y) e a cota altimétrica (z) de cada pixel. Uma vez que o refinamento foi projetado a alterar a resolução de 3" para 1" (fator de 3x), foram estimados 9 dados interpolados para cada dado de entrada. Cada estimativa é alimentada pelos dados de entrada posicionados dentro dos critérios de busca. A função geral de interpolação calcula a cota (Z_{xy}) de um pixel na posição (linha y , coluna x) como uma média ponderada (pesos w_i) entre as cotas de sua vizinhança (z_i) . A variação fundamental que existe entre diferentes interpolações se refere à determinação dos pesos w_i e ao conjunto de valores z_i incluídos no cálculo. Grande parte dos interpoladores atribui o peso das amostras de acordo com suas respectivas distâncias em relação ao ponto estimado. No caso da krigagem, o peso varia em função da distância e a função que o define tem estimadores controlados por coeficientes geoestatísticos. Nos testes de interpolação realizados, os esquemas de busca “as 6 amostras mais próximas de cada quadrante” e a busca simples (os 24 pontos mais próximos) resultaram em modelos idênticos. O segundo esquema foi adotado pela sua maior velocidade.

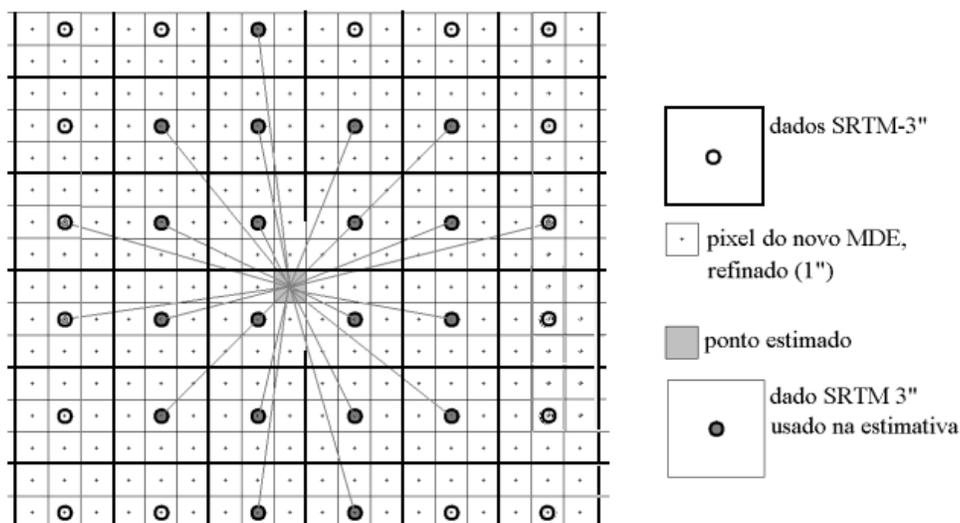


Figura 2 – Esquema do refinamento da resolução de 3'' para 1''.

Os coeficientes geoestatísticos provêm de um diagrama chamado semivariograma, que descreve a variabilidade espacial (eixo y) em função das distâncias (eixo x). Num exemplo ideal, apresenta-se como um gráfico crescente, devido à provável semelhança entre pontos a menores distâncias, até uma distância em que estabiliza num patamar de máxima variabilidade. Ao semivariograma experimental calculado a partir das observações ajustam-se modelos teóricos de semivariogramas, definidos pelo tipo de modelo (linear, esférico, gaussiano, exponencial, etc.) e pelos seus coeficientes numéricos *efeito pepita*, *escala* e *alcance*.

O atendimento a projetos diversos levou à preparação de diferentes conjuntos de dados SRTM. A cada demanda apresentada, os processos de amostragem, análise geoestatística e interpolação foram retomados localmente, em busca de MDE refinados que favorecessem o levantamento das informações de interesse nas condições do relevo das respectivas áreas de estudo. Os procedimentos foram gradativamente operacionalizados ao longo dos projetos atendidos e, na marcha definitiva, foram tomadas 8 amostras 30x30 em cada folha 1:250.000 de cada área de estudo (Figura 3). Previamente à tomada das amostras, as folhas foram examinadas para a identificação de 8 localidades com padrões distintos da superfície, para compor um conjunto mais diversificado possível. Assim, foram apontadas áreas de planos, vertentes, drenagem, feições convexas, feições côncavas, enfim, toda variação que trouxesse potenciais diferenças entre os semivariogramas. Ao fim desta coleta, as análises geoestatísticas seguiram com grandes conjuntos de amostras, cuja marcha de análise foi automatizada em praticamente todas as etapas, exceto na criação de semivariogramas experimentais e no ajuste de modelos teóricos. Ajustados os semivariogramas (escalonados), estes foram editados com escala padronizada para uma rápida comparação entre os mesmos (Valeriano, 2004, Figuras 4.7 e 4.8, por exemplo), para a identificação dos tipos principais, de acordo com sua semelhança. De cada grupo homogêneo, foi selecionado um representante típico para os testes de interpolação. Embora se possa questionar a ausência de controles experimentais nestes testes, a familiaridade com as formas naturais de ambientes diversos, inerente aos intérpretes consultados, mostrou-se suficiente para a indicação dos modelos de maior capacidade de representação do relevo. Identificados os melhores resultados, os respectivos coeficientes foram aplicados em todas as folhas que compõem cada área de estudo, independentemente da folha que deu origem a este conjunto, de forma a se obter um MDE padronizado para toda a área. Essa forma de trabalho foi seguida até que cerca de 35% do território nacional estiveram preparados sob diferentes interpolações (Figura 3).

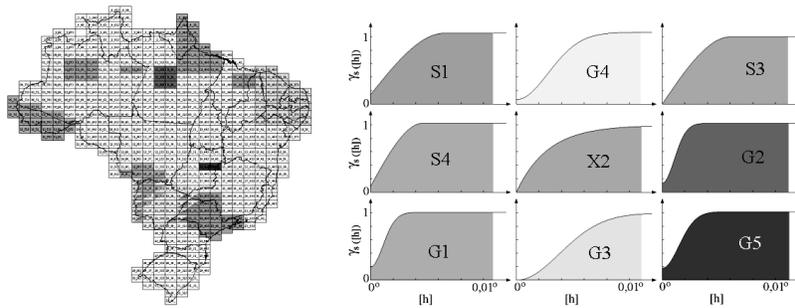


Figura 3 – Semivariogramas selecionados nas diferentes áreas de estudo.

Pelos testes de refinamento, a aplicação dos coeficientes geoestatísticos selecionados em krigagens para as diferentes áreas de estudo mostrou expressivas diferenças de efeito. Sua aplicação sobre o modelo Delta de Dirac (entrada teórica, Figura 4) resulta na distribuição do peso em função da distância relativa ao ponto estimado, revelando diferenças de propriedades pelo formato dos cones. Os cones de distribuição do peso de krigagem sob diferentes coeficientes geoestatísticos mostram diferentes formatos, numa indicação de variados efeitos de suavização e generalização. Quando aplicadas a um mesmo segmento (7x7) de MDE de dados SRTM, as diferenças dadas por estes fatores resultam em características distintas das superfícies produzidas, conforme os diagramas em perspectiva da Figura 4, abaixo.

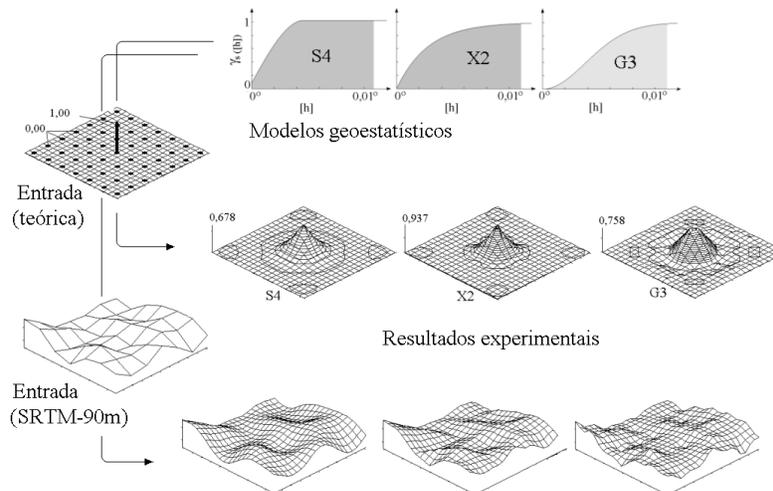


Figura 4 – Observação do efeito de diferentes coeficientes geoestatísticos.

As experiências com amostragens, análises geoestatísticas e com o modelo de elevação produzido, além das impressões transmitidas pelos usuários, trouxeram observações importantes para complementar a avaliação dos resultados experimentados, contribuindo de fato para o estabelecimento da metodologia. Entre essas, podemos destacar: há como produzir com os mesmos dados de entrada MDE com diferentes graus de detalhamento/suavização de acordo com os coeficientes geoestatísticos aplicados; a perspectiva de se atenuarem os efeitos de objetos não-topográficos não pode ser atendida sem um comprometimento sensível do detalhamento oferecido pelos dados; e modelos produzidos com detalhamento podem ser suavizados de diversas formas - a recíproca não é possível. Uma decisão unificada quanto às características de um MDE para todo território nacional deve atender a demanda de maior exigência possível. Assim, o critério para a seleção do modelo foi dirigido à obtenção do máximo detalhamento que não produzisse ruídos não-topográficos. Tal condição, diante dos

elementos listados acima, justificou a suposição de que algum dos modelos já selecionados em função de seu poder de detalhamento pudesse ter um desempenho desejável sobre uma ampla gama de situações topográficas. Da observação das aplicações testadas até então, restaram os modelos X2, S4 e G3 como os mais promissores a apresentarem tal desempenho.

A seleção de um conjunto de segmentos do MDE de dados SRTM para os testes de avaliação dos modelos de interpolação (Figura 5 A-B) foi planejada com vistas a maximizar a representatividade do experimento nas diferentes situações topográficas possíveis. Esta sistemática resultou na seleção das 40 áreas que estão apresentadas de forma padronizada na Figura 5-A, em relevo sombreado, com iluminação a 60° de elevação e direção de Norte, com exagero vertical de 12 vezes. Cada área corresponde a um segmento de 0,25° x 0,25°, uma matriz de 300x300 pixels nos dados SRTM originais.

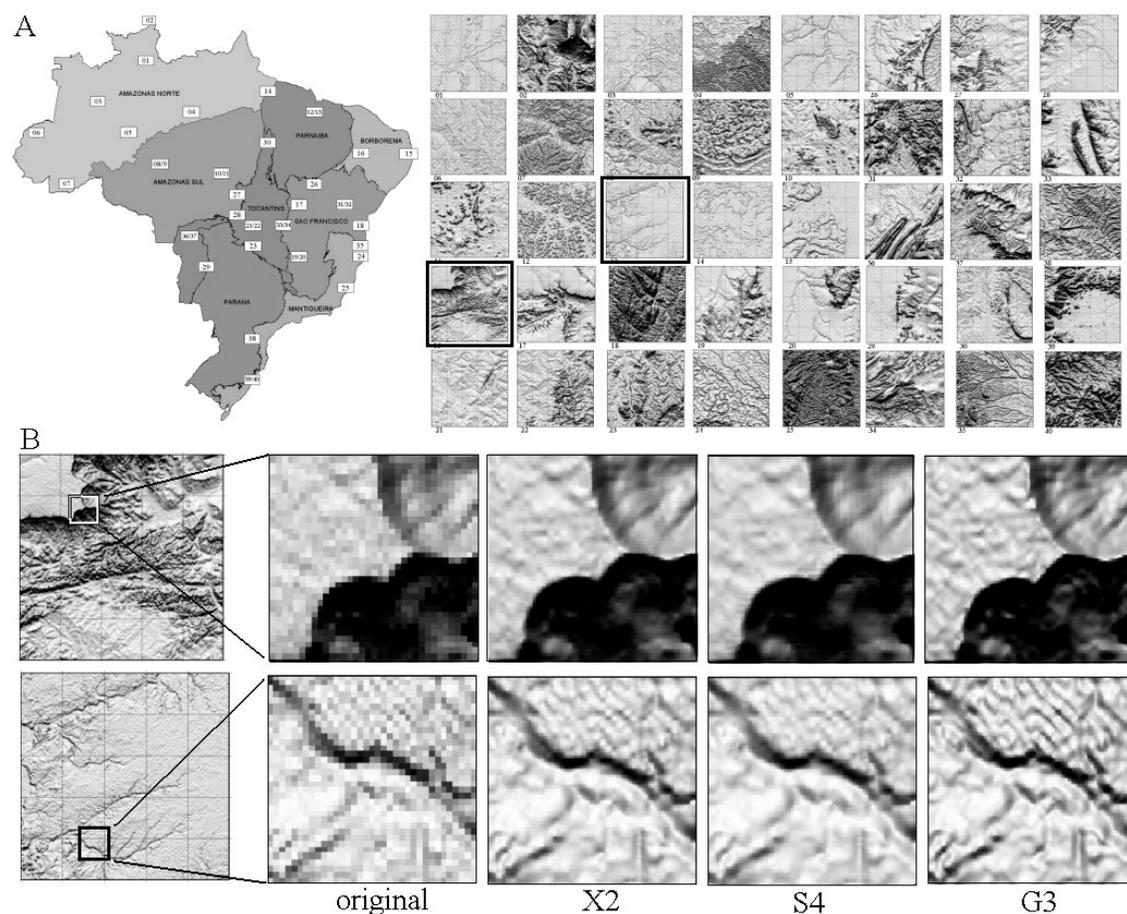


Figura 5 – Áreas selecionadas para testes (A); exemplo de testes sobre duas áreas (B).

Apesar das numerosas ressalvas consagradas a respeito de critérios baseados em interpretação visual, os resultados mostraram-se consistentemente inequívocos: o modelo G3 (tipo Gaussiano, efeito pepita nulo, escala de 1,0 e alcance de 0,0093°) foi avaliado como superior pela totalidade dos intérpretes consultados, e em todas as situações testadas (Figura 5-B). Estes coeficientes foram inseridos na krigagem, operada com uso do módulo de interpolação do programa *Surfer 6.0* (Golden Software, 1995).

A derivação do MDE refinado pelo modelo selecionado adotou uma estrutura de algoritmos desenvolvidos manualmente e programados em lote, elaborados para operar sobre MDE proveniente de curvas de nível. Estes algoritmos fundamentam-se em operações de vizinhança para o cálculo das variáveis declividade (Valeriano, 2002), curvatura vertical

(Valeriano, 2003), curvatura horizontal (Valeriano e Carvalho Júnior, 2003) e orientação de vertentes, além de um delineamento de talvegues e divisores de água (Valeriano et al., 2006). O fundamento da derivação de variáveis básicas está esquematizado na Figura 6. Estes foram programados no programa *Idrisi* (Eastman, 1995), em cujo módulo de programação (*IML - Idrisi Macro Language*) foram criadas as rotinas de processamento do MDE.

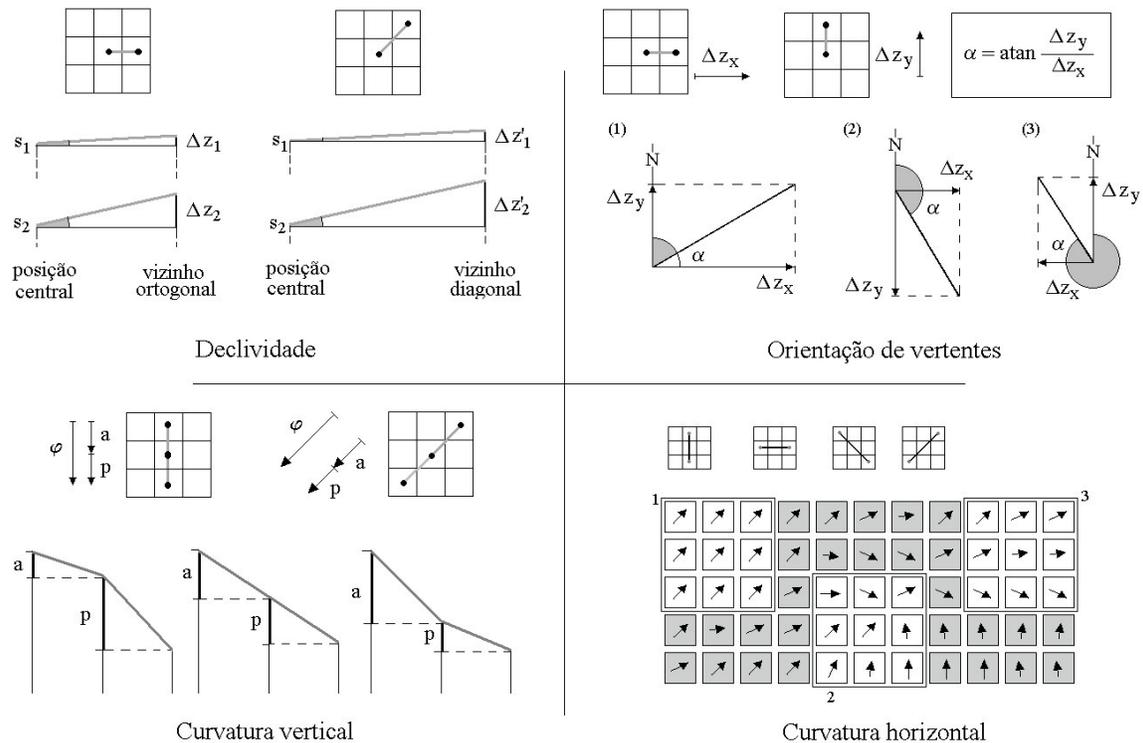


Figura 6 – Derivação por geoprocessamento das variáveis geomorfométricas locais.

O princípio básico adotado para a declividade fundamenta-se no cálculo da soma de vetores ortogonais da declividade, calculados em função dos desníveis recíprocos (em “xis”: nos lados Leste e Oeste e nos lados Norte e Sul) e da resolução espacial em torno de cada ponto analisado (Figura 6). Os testes com controle levaram a computar o valor máximo dos desníveis recíprocos e a aplicar este mesmo método, antes nos eixos N-S e E-W, nas diagonais (em “cruz”: NE, SE, SW e NW). A declividade finalmente computada corresponde ao vetor máximo obtido entre estas duas resultantes (Valeriano, 2002). Os mesmos vetores de desnível podem ser usados para o cálculo da orientação de vertentes. Nota-se que este cálculo é completado por uma lógica entre as componentes em x e em y para definir o quadrante em que se posiciona a orientação de cada ponto.

Todas as derivações foram aplicadas sobre os dados refinados sem que se alterassem as especificações cartográficas (coordenadas em WGS84) dos dados originais, exceto a resolução. Portanto, as resoluções (que definem os intervalos de derivação) foram calculadas à parte, em função da latitude, e inseridas como variáveis escalares.

Para as curvaturas, foi simulada a segunda derivada em cada direção de octante, com o uso de janelas móveis de 3x3 pixels. Para a curvatura vertical foram calculadas diferenças altimétricas dos lados recíprocos (a e p) do pixel central em cada posição da janela e subtraídas, resultando num valor de curvatura em cada direção (Figura 6). As curvaturas calculadas em cada direção têm seu significado restrito às áreas com a correspondente orientação de vertente (φ). Portanto, foi necessário classificar as orientações de vertentes nos

mesmos octantes usados para a geração de imagens booleanas (0: não; 1: sim) e aplicá-las na sobreposição das diferentes direções de curvaturas (Valeriano, 2003). Como resultado, obtém-se um único PI de curvatura (valores numéricos). A curvatura horizontal foi calculada pelos mesmos princípios, porém aplicados sobre os resultados de orientação de vertentes em vez da altitude (Valeriano e Carvalho Júnior, 2003). Dessa forma, o resultado final expressa a variação de direção por unidade de distância ($^{\circ}/m$), a mesma unidade da curvatura vertical. Na Figura 7 estão apresentados os resultados numéricos das derivações geomorfométricas locais de uma mesma área.

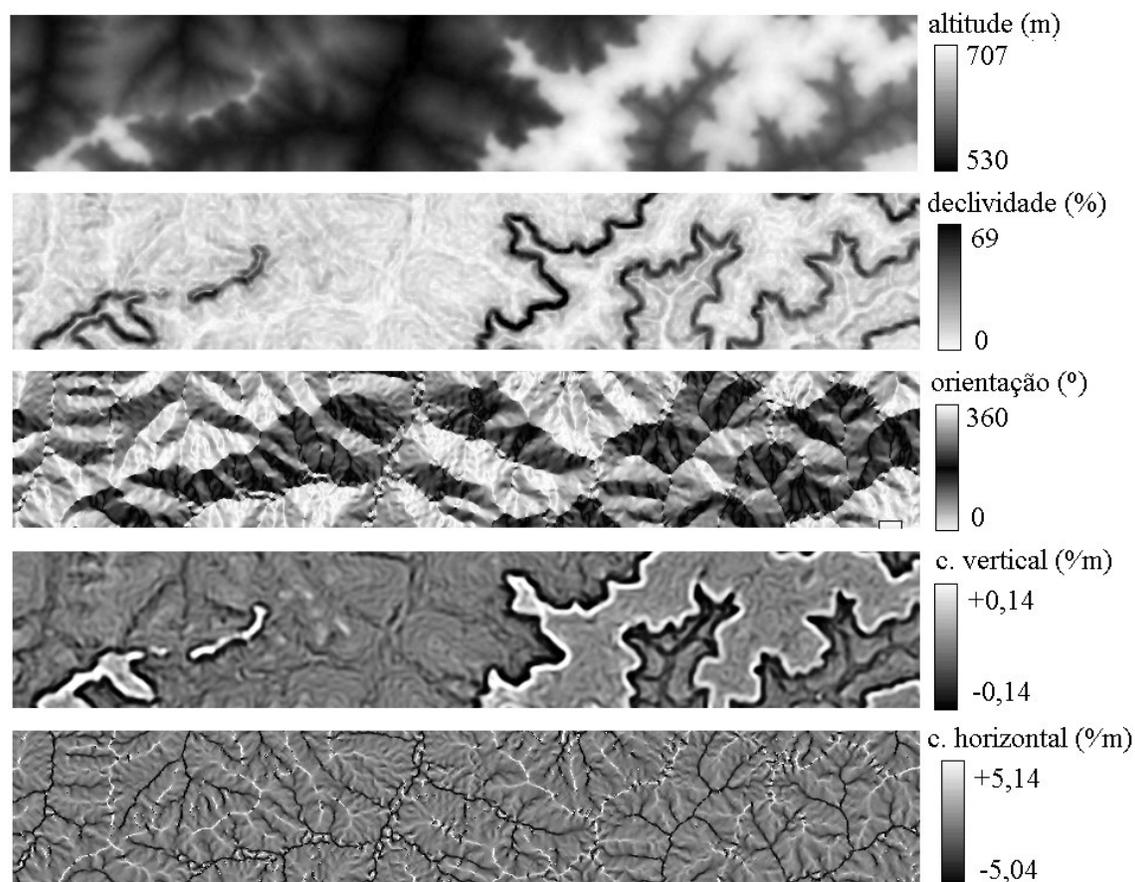


Figura 7 – Resultados numéricos das derivações geomorfométricas locais.

As curvaturas foram discretizadas em classes (côncavo, convexo e retilíneo, na vertical, e convergente, divergente e planar, na horizontal) em função de limiares escolhidos com base na comparação entre as áreas testadas e descrições da literatura. Da mesma forma, mapas de formas de terreno (combinação de ambas curvaturas) e classes de declividade foram editados através da elaboração e síntese dos resultados geomorfométricos. Por fim, foi realizado um processamento envolvendo a curvatura horizontal e uma modelagem da seção transversal para o delineamento de talvegues e divisores de água, que foi sobreposto a uma representação da orientação de vertentes, como insumo para o desenho de microbacias (Figura 8).

3. Considerações finais

Numa perspectiva de expansão de sua cobertura ou de aprimoramentos futuros, consideramos que os conhecimentos trazidos pela pesquisa de desenvolvimento tenham importância compatível com a própria difusão do banco de dados produzido. Considera-se

que tais dados representam apenas insumos fundamentais para a elaboração de informações de maior complexidade do relevo. Disponibilizados na internet para livre acesso da comunidade de usuários (www.dpi.inpe.br/topodata), os resultados do TOPODATA são acompanhados de documentos para fundamentação teórica, descrição dos procedimentos e guia de uso. O impacto direto esperado de sua difusão - uma intensificação do uso de informações topográficas em estudos do ambiente terrestre do Brasil - foi prontamente percebido, numa indicação indireta da ampliação dos conhecimentos sobre o meio físico.

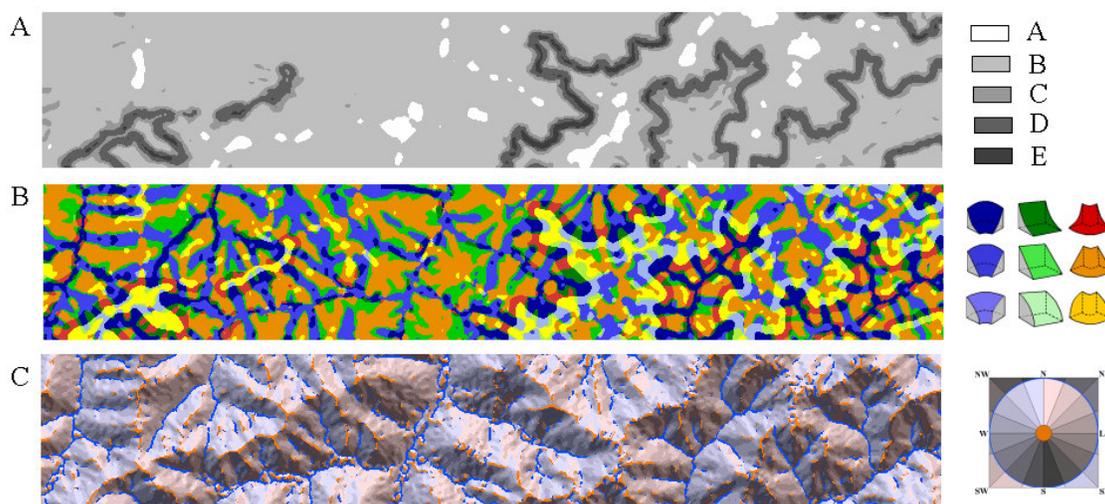


Figura 8 – Classes de declividade (A), formas do terreno (B) e talwegues e divisores (C).

Agradecimentos

Esta versão do TOPODATA é fruto do projeto CNPq “Modelagem de dados topográficos SRTM” e teve parte de sua execução em equipamentos cedidos pelo CNPTIA/EMBRAPA.

Referências

- Eastman, J. R. **Idrisi for Windows: User's Guide**. Worcester: Clark University, 1995. 440p.
- Golden Software. **Surfer Version 6.01- Surface Mapping System**. Golden: Golden Software, Inc., 1995.
- Landim, P. M. B. . **Análise estatística de dados geológicos**. 2a. edição revista e ampliada. 2. ed. São Paulo/SP: Fundação Editora da UNESP/FEU, 2003. 253 p.
- Shary, P. A., Sharaya, L. S., Mitusov, A. V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. **Geoderma**, n. 107, p. 1-32, 2002.
- Valeriano, M. M. **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.
- Valeriano, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. **Espaço e Geografia**, v.5, n.1, p.69-85, 2002.
- Valeriano, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbasias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.
- Valeriano, M. M., Carvalho Júnior, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbasias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, GO, v. 4, n. 1, p. 17-29, 2003.
- Valeriano, M. M., Kuplich, T. M., Storino, M., Amaral, B. D., Mendes Jr., J. N., Lima, D. J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. . **Computers & geosciences**, Amsterdam, Holanda, v. 32, n. 8, p. 1169-1181, 2006.