

**TRATAMENTO DOS DADOS DA MISSÃO *SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION* E COMPARAÇÃO COM MODELO DIGITAL DE TERRENO GERADO POR INTERPOLAÇÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS**

**Amanda Odelius Teixeira Pinto<sup>1</sup>, Osmar Abílio de Carvalho Junior<sup>1</sup>, Renato Fontes Guimarães<sup>1</sup>, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes<sup>1</sup>, Éder de Souza Martins<sup>2</sup> & Mário Diniz de Araújo Neto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>UnB – Universidade de Brasília – Departamento de Geografia  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.  
{renatofg@unb.br, osmarjr, robertogomes}@unb.br

<sup>2</sup>EMBRAPA Cerrados – Rodovia Brasília Fortaleza, BR 20 km 18, 73310-970, Planaltina, Distrito Federal.  
eder@cpac.embrapa.br

Recebido 16 de dezembro de 2003; revisado 14 de fevereiro de 2004; aceito 6 de abril de 2004

**RESUMO** – A representação topográfica é um importante parâmetro para compreender o funcionamento dos geossistemas e ecossistemas. O modelo digital de terreno (MDT) é uma representação numérica da topografia com simples estrutura de dados e amplamente acessível que se torna uma popular ferramenta para a caracterização da paisagem. Assim, o MDT é um dos mais importante parâmetro no modelamento ambiental com Sistema de Informação Geográfica. As aplicações do MDT são muito diversas como modelamento hidrológico, análise da distribuição do solo, estudos climáticos, análise tectônica entre outros. Muitas das análises quantitativas que relacionam a superfície do terreno com variáveis ambientais enfocam o caminho e os locais de contenção de água ou de outras feições hidrológicas. A área de estudo é a bacia do rio São Bartolomeu, localizado na região Centro-Oeste do Brasil. O objetivo desse trabalho é estabelecer uma metodologia para tratar os dados do SRTM de forma a diminuir a presença de ruídos e introduzir feições hidrológicas. A metodologia adota para o tratamento dos dados SRTM pode ser subdivida nas seguintes etapas: (a) extração das curvas de níveis, (b) introdução dos dados de drenagem e (c) interpolação utilizando o programa Topogrid. Posteri-

ormente o novo MDT é comparado com o SRTM original e um MDT gerado pela interpolação de cartas topográficas na escala 1:100.000 usando o método TOPOGRID. A resolução espacial dos MDTs é 90 metros. Os resultados demonstram o tratamento do SRTM apesar de algumas limitações em comparação com o MDT elaborado pelas cartas topográficas, apresenta grande potencial em estudos geomorfológicos.

**Palavras Chave** –Modelo Digital de Terreno, SRTM, atributos de terreno.

**ABSTRACT** – The topography representation is an important parameter to understand the function geosystems and ecosystems. A digital elevation model (DEM) is a numerical representation of topography with so simple data structure and widespread availability that it becomes a popular tool for landscape characterization. Thus, the DEM is one of the most important parameter in the environmental modeling with GIS. The applications of DEMs are very diverse like hydrologic modeling, soil distribution analysis, climatic studies, and tectonic analysis, among others. Many of quantitative analysis of relationships between land surface and environmental variables have been in response to the way water moves through and over the landscape settlement water content and other hydrological features. The aim of this work is to establish a methodology for edition of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data for geomorphology studies considering to hydrologic features. The study area is located in the River São Bartolomeu basin, in the mid-west of Brazil. A characteristic feature of the unedited SRTM data is numerous data errors and voids originating from a number of factors such as shadowing, layover, or other radar-specific causes. The methodology can be subdivided in following steps: (a) contourlines extraction of the SRTM, (b) digitization of the major stream with the flow direction, and (c) interpolation using the ARC-INFO procedure TOPOGRID. After the new DEM is to compare with the original SRTM and a DEM generated by interpolation of the digital maps in 1:10,000 scale using TOPOGRID

method. The DEMs spatial resolution is 90 meter. Results show that the MDT obtained from the SRTM, despite a few constraints, still present a great potential compared to the MDT elaborated from topographic maps in geomorphologic studies.

**Keywords** –Digital Elevation Model, SRTM, terrain attributes.

## INTRODUÇÃO

O modelo digital de terreno (MDT) simula o relevo em ambiente computacional e permite uma visualização tridimensional da superfície terrestre (Goodchild et al., 1993; Guimarães, 2000; Ramos, 2003). Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto vem evoluindo e se tornando numa das maiores fontes de informações para estudos geoambientais. O constante avanço tecnológico permite que várias imagens sejam criadas, testadas e comparadas, permitindo assim que os pesquisadores tenham cada vez mais dados e modelos que se aproximem do comportamento real das superfícies.

Os MDTs podem ser obtidos de várias formas: (a) aparelhos restituidores como o Digital Video Plotter (DVP) que podem extrair dados tri-dimensionais diretamente das fotografias aéreas, (b) imagens de sensores ópticos como ASTER (Hirano et al. 2003), IKONOS (Vassilopoulou et al., 2002), SPOT (Welch, 1990; Al-Rousan & Petrie, 1998) e ALOS (Futamura et al., 2002), (c) imagens de sensores de RADAR como ERS (Zebker et al., 1994) e RADARSAT (Parashar, 1993; Toutin, 1999; 2000), (d) altimetria a laser através de sensores aerotransportados (LIDAR) (Hodgson et al., 2003; Wehr & Lohr, 1999; White & Wang, 2003) e (e) interpolação de informações de cartas topográficas.

Para os países em desenvolvimento, a elaboração do MDT por meio de imagens de satélites é de grande valia, pois geralmente nesses países os mapas topográficos foram feitos manualmente a partir de fotografias aéreas podendo conter uma série de erros devido à utilização de técnicas ultrapassadas (Jarvis *et al.*, 2004). Além disso, os processos ativos presentes na paisagem são sensíveis a posição topográfica e das condições morfométricas do relevo (Hardisty *et al.*, 1993, Moore *et al.*, 1991; Schmidt & Dikau, 1998). Desta forma, inúmeras técnicas buscam extrair do MDT informações que retratem e caracterizem os diferentes elementos atuantes na superfície terrestre como atributos hidrológicos (Beven & Kirkby, 1979; Darboux *et al.*, 2002, O'Loughlin, 1986; Zhang & Montgomery, 1994), pedológicos (Bell *et al.*, 1994; Chaplot *et al.* 2000, Moore *et al.* 1993), geomorfológicos (Kooi & Beaumont, 2001; Miliareisis, 2001) e biogeográficos (Gottfried, *et al.*, 1998, Jelaska *et al.*, 2003).

Por ser difícil estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade das superfícies e fenômenos presentes são desenvolvidos inúmeros métodos e modelos onde o MDT é sempre um importante parâmetro de entrada. Para a obtenção de um MDT de qualidade é fundamental que os dados utilizados sejam confiáveis, a fim de representar de forma fidedigna o terreno. O MDT pode ser elaborado, basicamente, através de grades regulares retangulares (GRID) ou redes irregulares triangulares (TIN) geradas a partir de pontos 3D ( $x, y, z$ ) na forma de variações contínuas do relevo.

O presente trabalho possui como objetivo desenvolver uma metodologia para diminuir os efeitos dos ruídos presentes nos dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) como também adicionar feições da hidrografia. Além dis-

so, busca-se comparar os resultados obtidos pela metodologia proposta com os dados originais do SRTM e com um MDT gerado pela interpolação de dados topográficos usando o método TOPOGRID. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu – (DF).

### **SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)**

A missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) trouxe um grande avanço na aquisição de dados topográficos, pois permitiu que dados altimétricos fossem obtidos a partir de um único sobrevôo que recobriu 80% da superfície terrestre em apenas 11 dias, entre as latitudes de 60° Norte e 56° Sul. O sobrevôo forneceu modelos tridimensionais de alta qualidade e com duas resoluções espaciais, de 1 arc sec (30 metros) e de 3 arc sec (90 metros), com datum horizontal WGS84 e datum vertical WGS84/EGM96, com acuidade vertical relativa na ordem de 5 metros (Smith & Sandwell, 2003; Rose et al. 2001a ,b).

A aquisição de dados de forma contínua (de dia e de noite e com cobertura de nuvens) dentro de uma mesma metodologia garantiu a obtenção homogênea de dados ao longo de todo o globo, tornando o SRTM uma importante ferramenta para os estudos da superfície terrestre (Santos et al., 2005; van Zyl, 2001; Rabus et al., 2003; Smith & Sandwell, 2003). As informações obtidas a partir do SRTM utilizam-se de uma tecnologia denominada interferometria de radar, em que duas imagens são adquiridas a partir de pontos de vista diferentes, permitindo a determinação da altimetria pixel a pixel.

Os dados SRTM geram MDTs de alta qualidade ainda que apresentem falhas como: (a) a falta de dados em algumas áreas (buracos); (b) presença de

picos (valores extremamente altos) e vórtices (valores extremamente baixos), e (c) má definição dos corpos d'água e das linhas de costas (Jarvis et al., 2004; Lu et al., 2004; Rabus et al., 2003). Para solucionar o problema da inexistência de dados foram propostas as seguintes metodologias: (a) fusão de outros modelos de elevação com o do SRTM e (b) interpolação para preencher os buracos (Jarvis et al., 2004; Valeriano, 2004). A minimização dos efeitos de picos e vórtices pode ser obtida pelo emprego de uma série de filtros espaciais. No entanto, deve-se salientar que a filtragem proporciona uma suavização generalizada no relevo, por não distinguir os artefatos (pontes, torres, árvores, entre outros) das feições reais, causando assim uma impressão falsa da topografia (Valeriano, 2004).

A checagem da acuidade vertical do SRTM pode ser realizada marcando pontos de referências através do GPS e conferindo a altimetria do modelo com a realidade altimétrica do local (Jarvis et al., 2004; Lu et al., 2004; Smith & Sandwell, 2003). Para averiguar a precisão vertical relativa Smith & Sandwell (2003) fizeram uma análise espectral cruzada entre os modelos SRTM, NED e ALSM, e após definir a precisão vertical utilizaram filtros e realizaram o fracionamento dos dados a fim de obter uma melhor resolução espacial.

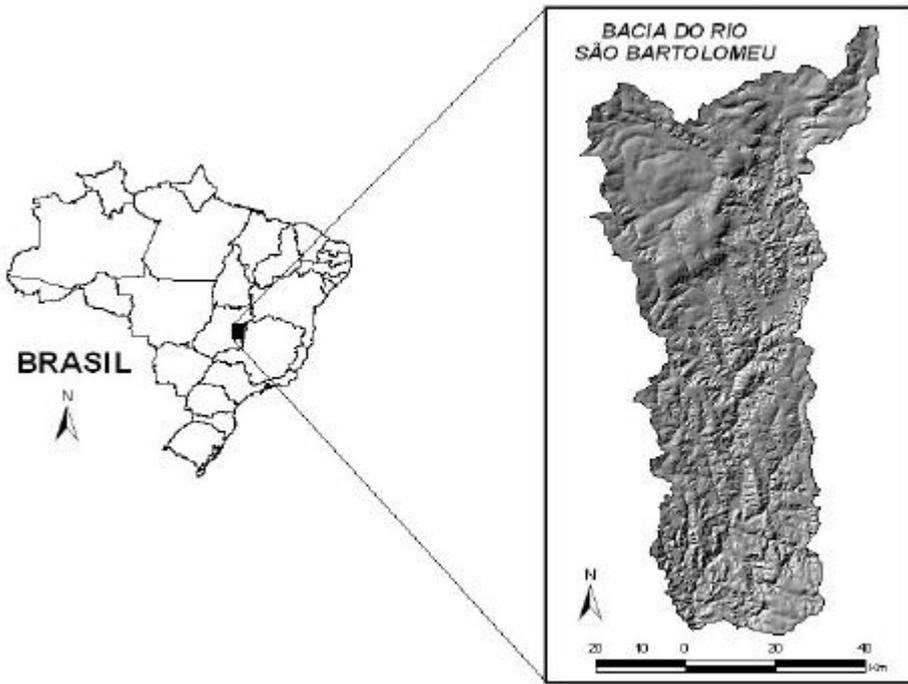
Tanto Jarvis et al., (2004) quanto Valeriano (2004) optaram por aumentar a resolução espacial com intuito de avaliar a qualidade de detalhamento dos dados SRTM. Valeriano (2004) recomenda que para uma boa delimitação da rede de drenagem, deve-se utilizar a interpolação da carta topográfica como dado primário e os dados do SRTM como complementares.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia do rio São Bartolomeu, na região Centro-Oeste do Brasil, ao sul do Distrito Federal (**Figura 1**). A bacia de estudo possui aproximadamente 5.334 Km<sup>2</sup> e é composta por região de chapada, área de dissecação intermediária e região dissecada de vales (Novaes Pinto, 1993). Quanto à composição da rede de drenagem verifica-se grande assimetria, havendo, contudo distinções entre os afluentes da margem esquerda e os da margem direita. Os afluentes da margem esquerda, geralmente, são curtos e dissecam vertentes íngremes e abruptas e nascem no topo dos rebordos erosivos. Enquanto que os da margem direita drenam encostas mais longas e suaves e tem suas nascentes, freqüentemente, no planalto do Distrito Federal ou em seus patamares que formam o divisor entre as bacias dos rios São Bartolomeu e Corumbá de Goiás. Somente ao redor do Domo de Cristalina é que seus tributários da margem esquerda tornam-se mais extensos. As redes de drenagem são fortemente condicionadas pelas falhas de empurrão, falhas normais e fraturas dos Grupos Canastra e Bambuí (Silva, 2003).

## METODOLOGIA

Na realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados: (a) cartas topográficas com curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, disponibilizadas pelo Centro de Cartografia Automatizada do Exército (CeCAuEx), na escala de 1:100.000, e (b) SRTM da U.S. Geological Survey (USGS) com resolução de aproximadamente 90 metros. A metodologia adotada pode ser subdividida em três etapas: (a) confecção do MDT a partir de cartas topográficas; (b) edição dos dados SRTM, e (c) comparação entre os MDTs pela subtração.



**Figura 1** – Mapa de localização.

### **CONFECÇÃO DO MDT A PARTIR DE CARTAS TOPOGRÁFICAS**

O MDT da área de estudo foi confeccionado a partir das cartas topográficas em base digital da CeCAuEx, na escala de 1:100.000, com equidistância das curvas de nível de 50 metros. Como alguns dados estavam incompletos e/ou defeituosos foi necessário fazer uma edição das curvas, pontos cotados e hidrografia através do programa ArcView. Após a edição dos dados, estes foram importados para o ArcInfo para a geração do MDT.

A interpolação foi realizada pelo módulo TOPOGRID do programa ArcInfo

(ESRI, 1993). Esse procedimento emprega o algoritmo desenvolvido por Hutchinson (1989) que objetiva criar um DEM para estudos hidrológicos. O algoritmo foi elaborado para produzir um MDT acurado que contenha as propriedades das drenagens e a os dados de direção de fluxo. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (Hutchinson, 1989). Esse método combina as vantagens de uma interpolação local com uma interpolação global, apresentando um melhor resultado quando comparado a outros interpoladores (Guimarães, 2000). A qualidade do MDT depende da distribuição dos dados de entrada, eventualmente no topo do relevo pode haver áreas achatadas devido à baixa informação no cume, gerando formas diferentes da realidade. Além disso, outra deficiência desse algoritmo é a concentração de valores nas curvas de níveis (Stevens et al. 2002).

A resolução espacial da cela unitária (pixel) estabelecida para o MDT foi de 90m. Esse tamanho foi definido a partir dos dados SRTM disponíveis para que se pudesse realizar uma análise comparativa entre os dois MDTs. As cartas topográficas por estarem em fusos diferentes foram transformadas para a projeção conforme de Lambert.

## **ANÁLISE DOS DADOS SRTM E TRATAMENTO DE RUÍDOS**

Os dados do SRTM foram adquiridos diretamente da internet na página oficial da USGS <<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>>. O arquivo original, em formato HEIGHT (hgt) foi transformado em formato ASCII no programa ArcInfo e depois em formato x, y e z no programa ArcView e colocado também na

projeção Conforme Lambert.

No presente trabalho um novo MDT foi confeccionado com o propósito de eliminar os dados ruidosos (picos e vórtices) ou de falta de dados eventuais presentes no SRTM. A metodologia adotada na confecção desse novo MDT pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) extração das curvas de nível dos dados do SRTM com a mesma equidistância das cartas topográficas (50 metros), (b) estabelecimento dos corpos d'água e da rede de drenagem com direcionamento do fluxo e (c) interpolação desses novos dados pelo método TOPOGRID, no ArcInfo, preservando a cela unitária de 90 metros.

A elaboração desse MDT proveniente da interpolação dos dados topográficos extraídos do SRTM com a da rede hidrográfica busca atender as especificidades dos estudos que necessitam de uma melhor precisão dos dados hidrográficos, como também permite eliminar os eventuais erros presentes no SRTM. A maior parte dos modelos que empregam o MDT para análise geomorfológica, pedológica e hidrológica considera como importante atributo de terreno a trajetória da água através da paisagem. Assim, muitos trabalhos correlacionam variáveis do solo e de processos erosivos com locais de acúmulo de água ou com outras feições hidrológicas (Bell *et al.*, 1992; Buttle and House, 1997, Desmet and Govers, 1997; Fiez *et al.*, 1995; Huang, 1995; McKenzie and Ryan, 1999; Rawls and Pachepsky, 2002; Romano and Santini, 1997; Voltz and Goulard, 1994). Desta forma, visando atender grande parte de estudos que empregam o MDT torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias que permitam estabelecer o caminhamento da água.

## COMPARAÇÃO DOS MODELOS

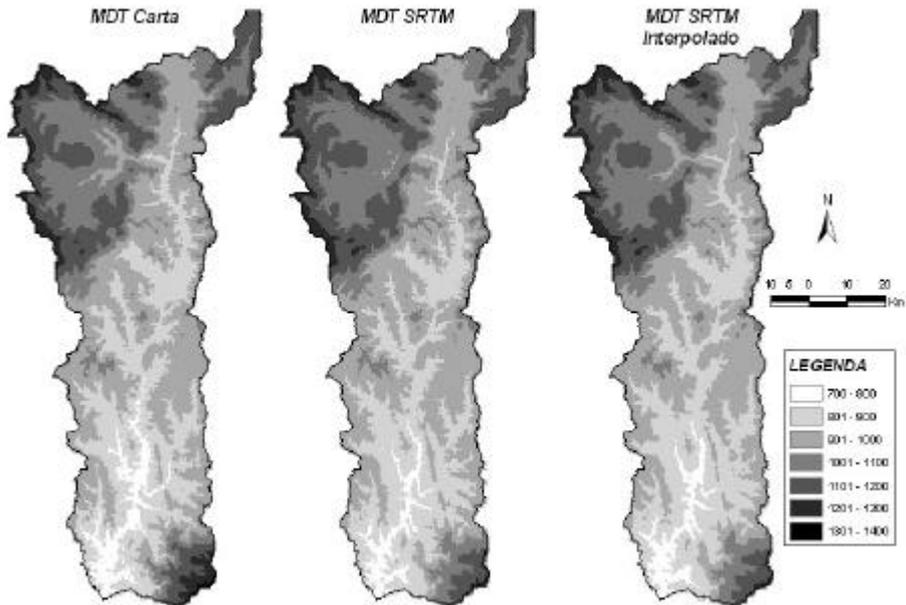
A comparação entre os MDTs foi realizada pela operação de subtração de matrizes considerando os seguintes casos: (a) MDT SRTM original menos o MDT a partir das cartas topográficas (TOPO) para verificar as áreas de maior discrepâncias altimétricas entre os modelos, e (b) MDT SRTM Interpolado menos TOPO.

Após as subtrações, os dados de todos os modelos foram ordenados em classes com variação de 20m com finalidade de obter uma melhor identificação das áreas onde ocorrem maior variação e as discrepâncias altimétricas. Além da análise visual foram elaboradas análises quantitativas representadas por gráficos e tabelas.

## RESULTADOS

Uma análise inicial do MDT referente ao SRTM original não apresenta picos nem vórtices acentuados como também não possui células sem dados. As **Figuras 2 e 3** comparam os MDTs proveniente das cartas topográficas (TOPO), SRTM original e SRTM Interpolado. A interpolação do SRTM permite uma melhor definição dos rios e corpos d'água o que possibilita a melhoria da informação das regiões de menor altitude (**Figura 2**).

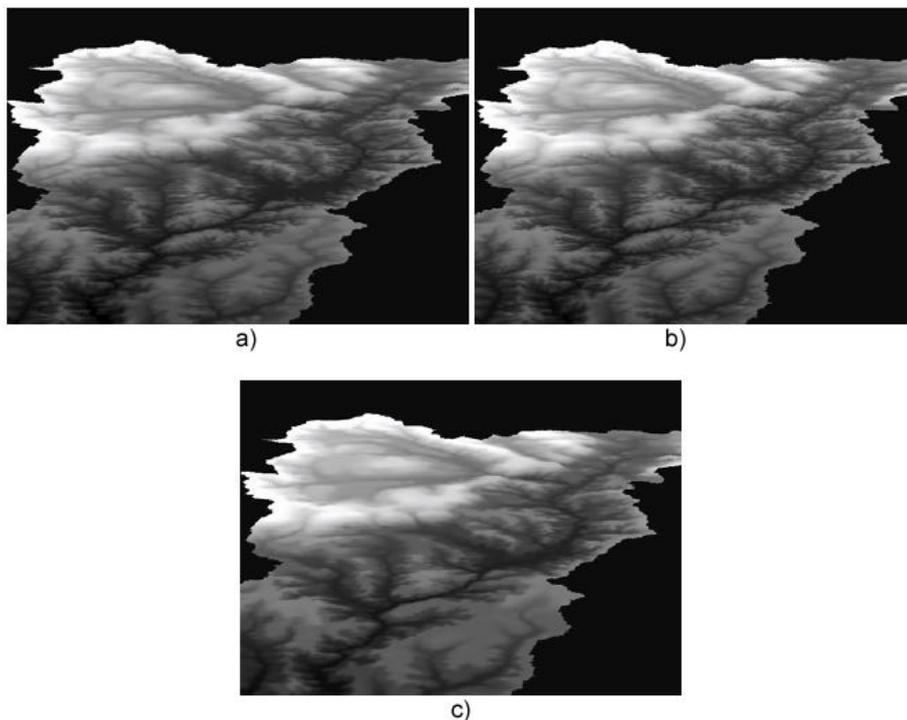
Como era previsto o MDT relativo ao SRTM interpolado apresenta maior semelhança com os dados do MDT gerado pela carta topográfica. Além disso, a inserção da drenagem melhora as discrepâncias nos corpos d'água e possibilita estudos relativos aos fluxos superficiais. No entanto, cabe salientar que a interpolação do SRTM gera uma suavização da topografia.



**Figura 2** - Os diferentes MDTs com suas variações altimétricas.

A subtração dos MDTs permite identificar as áreas de maior discrepâncias altimétricas, entre os modelos, determinando a localização desses pixels em toda a bacia (**Tabela 1**).

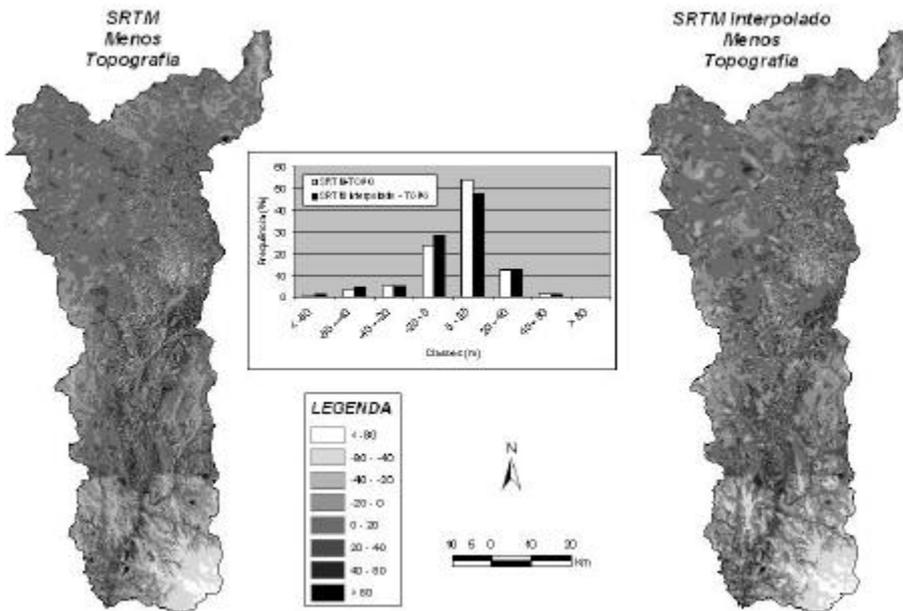
A diferença altimétrica entre os modelos SRTM e TOPO atinge 175 metros, enquanto que entre o SRTM Interpolado e o TOPO não passa de 146 metros. Na imagem diferença SRTM – TOPO entre 40 a 80 metros existem 10.783 pixels (1,64%). Em contraposição, a diferença altimétrica máxima entre o SRTM Interpolado e o TOPO é de 146 metros, e nas classes 7 e 8 houve a diminuição do número de pixels, 8.620 (1,31%) e 160 (0,02%), respectivamente (**Figura 4** e **Tabela 1**).



**Figura 3** - Recorte dos MDTs em 3D: (a) MDT TOPO; (b) MDT SRTM Original; (c) MDT SRTM Interpolado.

**Tabela 1** – Distribuição dos pixels em classes pré-estabelecidas.

Número de classes	Classes (m)	SRTM - TOPO		SRTM Interp.-TOPO	
		Nº pixels	Freq.(%)	Nº pixels	Freq.(%)
1	< -80	5 600	0.85	7 632	1.16
2	-40	21 296	3.23	27 980	4.26
3	-20	33 127	5.03	32 003	4.87
4	-20	153 960	23.38	185 093	28.18
5	0 - 20	352 831	53.58	311 485	47.42
6	20 - 40	80 511	12.23	83 825	12.76
7	40 - 80	10 783	1.64	8 620	1.31
8	> 80	385	0.06	160	0.02



**Figura 4** - Subtração dos MDTs com tabela de distribuição dos pixels.

Na imagem diferença SRTM – TOPO os pixels se concentram majoritariamente na classe 5 (53,58%), ou seja, o modelo SRTM apresenta grande parte de seus pixels com elevação igual ou menor que 20 metros em relação ao modelo TOPO (Tabela 1). Com a interpolação dos dados SRTM esse percentual diminui, passou para 47,42%, e houve o aumento da classe 4, de 23,38% para 28,18%. Em outras palavras, ocorre uma dispersão dos pixels quanto aos valores de elevação. O resultado é um modelo com feições mais próximas do MDT TOPO (**Figura 4**).

Tanto no MDT SRTM original como no MDT SRTM Interpolado a maioria dos pixels, 76,96% e 75,60%, respectivamente, estão posicionados nas classes 4

e 5. Contudo, ao analisar a distribuição desses pixels vemos que no SRTM Interpolado estão melhores distribuídos (**Figura 4**).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o MDT SRTM, apesar de algumas limitações em comparação ao MDT TOPO, apresenta grande potencial em estudos geomorfológicos, em escalas regionais e áreas ainda não cartografadas. Porém, devido ao tamanho dos pixels de 90 metros os dados do SRTM têm limitação na escala, sendo seu uso recomendado a aplicação em nível regional.

A interpolação dos dados SRTM pela altimetria e hidrografia possibilita a suavização do relevo e a diminuição das diferenças altimétricas com o MDT TOPO. Frisamos que essa técnica deve ser utilizada com cautela, pois esta provoca uma suavização generalizada.

A subtração de modelos é um método rápido e eficaz de analisar as diferenças altimétricas. Através dessa técnica verifica-se a dispersão dos pixels quanto aos valores de elevação após a interpolação dos dados SRTM. As regiões com maior diferença entre as altitudes se concentram em regiões próximas ou sobre corpos d'água.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ROUSAN, N., PETRIE, G. (1998). System calibration, geometric accuracy testing and validation of DEM and orthoimage data extracted from SPOT stereopairs using commercially available image processing systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(4): 8– 15.
- BELL, J.C., CUNNINGHAM, R.L., HAVENS, M.W. (1992). Calibration and validation of a

- soil-landscape model for predicting soil drainage class. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1860–1866.
- BELL, J.C., CUNNINGHAM, R.L., HAVENS, M.W. (1994). Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 464–470.
- BEVEN, K.J., KIRKBY, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24: 43–69.
- BUTTLE, J.M., HOUSE, D.A. (1997). Spatial variability of saturated hydraulic conductivity in shallow macroporous soils in a forested basin. *Journal of Hydrology*, 203: 127–142.
- CHAPLOT, V., WALTER, C., CURMI, P. (2000). Improving soil hydromorphy prediction according to DEM resolution and available pedological data. *Geoderma*, 97: 405–422.
- DARBOUX, F., HUANG, C. (2003). An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 92–99.
- DESMET, P.J.J., GOVERS, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51: 427–433.
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). (1993). *Understanding GIS – The ARC/INFO Method*. New York: Wiley.
- FIEZ, T.E., PAN, W.L., MILLER, B.C. (1995). Nitrogen use efficiency of winter wheat among landscape positions. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 1666 – 1671.
- FUTAMURA, N., TAKAKU, J., SUZUKI, H., IJIMA T., TADONOT., MATSUOKA M., SHIMADA M., IGARASHI, T. & SHIBASAKI, R. (2002). High resolution DEM generation from ALOS PRISM data - algorithm development and evaluation. In:

- International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS'02, Toronto, Canada. *Proceedings of IGARSS'02*. Piscataway, NJ, EUA : IEEE International, 1: 405-407.
- GOODCHILD, M.F., PARKS, B.O., STEYAERT, L.T. (1993). *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University Press.
- GOTTFRIED, M., PAULI, H., GRABHERR, G. (1998). Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone. *Arct. Alp. Res.*, 30(3): 207–221.
- GUIMARÃES, R. F. (2000). *Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de Drenagem*. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- HARDISTY, J., TAYLOR, D.M., METCALFE, S.E. (1993). *Computerized environmental modeling*. Chichester: John Wiley & Sons.
- HIRANO, A., WELCH, R., LANG, H. (2003). Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 356–370
- HODGSON, M.E., JENSEN, J.R., SCHMIDT, L., SCHILL, S., DAVIS, B. (2003). An evaluation of LIDAR- and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. *Remote Sensing of Environment*, 84(2): 295-308.
- HUANG, C. (1995). Empirical analysis of slope and runoff for sediment delivery from interrill areas. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 982–990.
- HUTCHINSON, M.F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211-232.
- JARVIS, A., RUBIANO, J., NELSON, A., FARROW, A., MULLIGAN, M. (2004). *Practical*

*use of SRTM data in the tropics: comparisons with digital elevation models generated from cartographic data.* Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- JELASKA, S.D., ANTONIĆ, O., NIKOLIĆ, T., HRSAK, V., MISKO P, KRIZAN, J. (2003). Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM-based variables—a case study for Medvednica Nature Park, Croatia. *Ecological Modelling*, 170: 333–343.
- KOOI, H., BEAUMONT, C. (1996). Large-scale geomorphology: classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface process model. *Journal of Geophysical Research*, 101 (B2): 3361–3386.
- LU, Z., RYKHUS, R., MASTERLARK, T., DEAN, K.G (2004). Mapping recent lava flows at Westdahl Volcano, Alaska, using radar and optical satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 91: 345–353.
- MCKENZIE, N.J., RYAN, P.J., 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89: 67–94.
- MILIARESIS G.C. (2001). Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. *Computers & Geosciences*, 27: 775–786.
- MONTGOMERY, D.R., SULLIVAN, K., GREENBERG, H.M. (1998). Regional test of a model for shallow landslides. *Hydrological Processes*, 12: 943-955.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5: 3 - 30.
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A., PETERSON, G.A. (1993). Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443–452.
- NOVAES PINTO, M. (1993). Geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M.

- (Org.) *Cerrado: caracterização, perspectivas*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, pp. 284-344.
- O'LOUGHLIN, E.M. (1986). Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, 22: 794-804.
- PARASHAR, S., LANGHAM, E., MCNALLY, J., AHMED, S. (1993). RADARSAT mission requirements and concepts. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19 (4): 280– 288.
- RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R. (2003). The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 241-262.
- RAMOS, V.M.A. (2003). *Modelagem matemática nos estudos dos movimentos de massa: Aplicação de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamento rasos na área do Subúrbio Ferroviário de Salvador (BA)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília.
- RAWLS, W.J., PACHEPSKY, Y.A. (2002). Using field topographic descriptors to estimate soil water retention. *Soil Science*, 167(7): 423–435.
- ROMANO, N. & SANTINI, A. (1997). Effectiveness of using pedotransfer functions to quantify the spatial variability of soil water retention characteristics. *Journal of Hydrology*, 202: 137– 157.
- ROSEN, P., EINEDER, M., RABUS, B., GURROLA, E., HENSLEY, S., KNOEPFLE, W., BREIT, H., ROTH, A. (2001a). SRTM mission cross comparison of X and C band data properties. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, NSW, Australia. *Proceedings...*, 2: 751-753.
- ROSEN, P., HENSLEY, S., GURROLA, E., ROGEZ, F., CHAN, S., MARTIN, J., RODRIGUEZ, E. (2001b). SRTM C-band topographic data: quality assessments and calibration activities. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, NSW, Australia. *Proceedings...*, 2: 739-741.

- SILVA, C.R. (2003). *Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno, Fase I*. Rio de Janeiro: CPRM/ EMBRAPA /SCO-MI.
- SMITH, B., SANDWELL, D. (2003). Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. *Geophysical Research Letters*, 30(9): 1467-1470.
- STEVENS, N.F., MANVILLE V., HERON, D.W. (2002). The sensitivity of a volcanic flow model to digital elevation model accuracy: experiments with digitised map contours and interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki volcanoes, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119: 89-105.
- TOUTIN, T. (1999). Error tracking of radargrammetric DEM from RADARSAT images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2227–2238.
- TOUTIN, T. (2000). Evaluation of radargrammetric DEM from RADARSAT images in high relief areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(2): 782–789.
- VALERIANO, M.M. (2004). *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. São José dos Campos: INPE. 72 p. (Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, INPE-10550-RPQ/756).
- VAN ZYL, J.J. (2001). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): A breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronáutica*, 48: 5-12.
- VASSILOPOULOU, S., HURNI, L., DIETRICH, V., BALTSAVIAS, E. PATERAKI, M., LAGIOS, E., PARCHARIDIS, I. (2002). Orthophoto generation using IKONOS imagery and high-resolution DEM: a case study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece). *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 24– 38.
- VOLTZ, M., GOULARD, M. (1994). Spatial interpolation of soil moisture retention curves. *Geoderma*, 62: 109–123.
- WEHR A., LOHR U. (1999). Airborne laser scanning – An introduction and overview.

*ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 68-82.

WELCH, R. (1990). 3-D terrain modeling for GIS applications. *GIS World*, 3(5): 26–30.

WHITE S.A., WANG Y. (2003). Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote Sensing of Environment*, 85(1): 39-47.

ZEBKER, H.A., WERNER, C.L., ROSEN, P.A., HENSLEY, S. (1994). Accuracy of topographic maps derived from ERS-1 interferometric radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(4): 823-836.

ZHANG, W.M. & MONTGOMERY, D.R. (1994). Digital elevation model grid size, landscape representation, hydrologic simulations. *Water Resources Research*, 30: 1019-1028.