

## Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar

Lucas de Melo Melgaço<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>2</sup>  
Michael Steinmayer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCCAMP  
Caixa Postal 317 – 13086-900 - Campinas - SP, Brasil  
lucasm@puc-campinas.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Caixa Postal 6152 - 13083-370 - Campinas- SP, Brasil  
beto@ige.unicamp.br

<sup>3</sup>SulSoft – Serviços de Processamento de Dados Ltda.  
R. Felipe Neri, 444 – 90440-150- Porto Alegre - RS, Brasil  
michael@sulsoft.com.br

**Abstract.** The aim of this paper is to compare the quality and accuracy of Digital Elevation Models (DEM) generated from different sources. Three different DEMs, covering the same geographic area (region of Uberaba, MG), are tentatively evaluated in this work. The first is a DEM derived from radar interferometry, through the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). The other two are DEMs generated from optical stereoscopic images: one from the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), and the other from the CCD sensor onboard of the China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS II). The SRTM and the ASTER DEMs show an impressive match as regards elevation. The CBERS-II image shows larger problems between the stereopair, a problem that requires additional registration with a more accurate dataset, and further with the other DEMs, before comparisons can take place. Preliminary results show that the DEMs evaluated can provide a fast and an accurate description of the topography in scales varying from 1:50.000-1:250.00.

**Palavras-chave:** remote sensing, digital elevation model, stereoscopy, interferometry; sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, estereoscopia, interferometria.

### 1. Introdução

A geração de modelos digitais de Elevação (MDE) é uma prática bastante recente dentro das geotecnologias. Os primeiros modelos foram gerados a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo. Esta é uma maneira ainda corrente de se gerar os MDE, mas que, pela lentidão do processo e pelo seu alto custo, vem sendo substituída por métodos mais rápidos e automatizados.

Um desses métodos é a interferometria por radar. Esta é uma técnica de imageamento ativa, em que o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características do retorno deste sinal através de duas outras antenas alocadas a distância uma da outra. Através da comparação dos dois sinais pode-se criar o modelo de elevação. Entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 a NASA (National Aeronautics and Space Administration), juntamente com a NIMA (National Imagery and Mapping Agency), a DLR (Agência Espacial Alemã) e a ASI (Agência Espacial Italiana) lançaram a missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria. Os dados foram liberados em duas resoluções diferentes: 1 arco de segundo e 3 arcos de segundo. Os dados utilizados neste trabalho possuem esta última resolução, algo próximo a um pixel de 90 metros.

Uma outra maneira de geração de modelos que dispensa as atividades de campo é através da comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área. A estereoscopia consiste na extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento. É um ramo que surge dentro da aerofotogrametria, mas que, recentemente, vem ganhando espaço com a utilização de imagens orbitais.

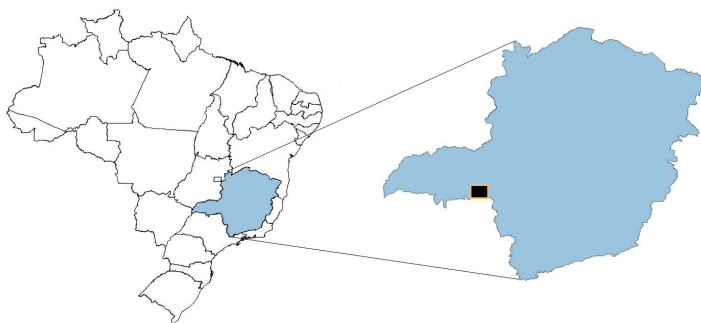
O ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), a bordo do satélite Terra, é um destes sensores capaz de adquirir pares estereoscópicos. Para tanto, o sistema de aquisições de imagens no visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER conta com dois telescópios. Um deles, o instrumento VIS-IVP, gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55 graus. Cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento, a mesma área é imageada com um outro instrumento, que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27 graus em direção oposta à órbita do satélite. A partir dessa operação um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP é constituído, as quais são denominadas de bandas 3N (*Nadir*) e 3B (*Backward looking*). A grande vantagem desse tipo de estereoscopia é que, devido ao curtíssimo intervalo de tempo entre a aquisição das duas imagens que compõem o par estereoscópico, praticamente não há diferenças radiométricas, condições de iluminação da cena e cobertura de nuvens, fato não verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes.

O CBERS II, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, também possui um sensor capaz de adquirir pares estereoscópicos. Diferentemente do ASTER, que adquire o par ao longo da mesma órbita do satélite, o CBERS II adquire o par a partir de duas órbitas distintas, fazendo uso da capacidade de oscilação de  $\pm 32$  graus do espelho que integra o sistema de imageamento.

O objetivo deste trabalho é, portanto, comparar, para uma mesma área, três modelos digitais de elevação provenientes de métodos diferentes de aquisição: SRTM (interferometria) e ASTER e CBERS (estereoscopia óptica convencional).

## 2. Área de Estudo

O estado da arte sobre a comparação de MDEs gerados por diferentes processos nos mostra que a maioria das publicações traz avaliações que tomam como referência dados de áreas distintas. Neste artigo propomos uma comparação de dados para uma mesma área, qual seja, a região da cidade de Uberaba, MG. (**Figura 1**). A área selecionada possui as seguintes coordenadas geográficas: limite superior esquerdo 19°38'S, 47°58'W e limite inferior direito 20°14'S, 47°30'W, num total de 3.000 Km<sup>2</sup> e com uma considerável variação altimétrica, de cerca de 400 metros nas áreas mais baixas a 1200 metros nas áreas mais altas.



**Figura 1. Localização da Área de Estudo**

### 3. Materiais e Métodos

O primeiro passo compreendeu o corte das cenas, para que a mesma área pudesse ser comparada segundo imagens dos diferentes sensores óticos e do radar. As imagens foram georreferenciadas tomando-se a imagem ASTER como referência, visto que a mesma possui a maior resolução espacial entre todos os dados disponíveis para o estudo (15m), além de ser considerada como um produto com especificações ótimas para trabalhos em escala de semi-detalle (1:50.000 ou superior) (Souza Filho, 2003) (Abrams & Hook, 2002).

- **SRTM**: os dados do SRTM foram adquiridos junto ao JPL/NASA, na forma de blocos de 1 x 1 grau de latitude e longitude, com resolução radiométrica de 16bits, formato 'integer', e com resolução espacial de 90m. Esses blocos, originalmente no formato \*.hgt, foram transformados num formato compatível com software de processamento de imagens e corrigidos no sentido de minimizar o impacto de pixels nulos nos MDEs (interpolação). A presença desses pixels nulos é intrínseca aos dados SRTM, em função do processo de aquisição por interferometria (Rabus et al., 2003). Para que a área de estudo fosse coberta completamente, um mosaico compreendendo vários blocos de dados SRTM foi produzido.

- **ASTER**: a extração do modelo digital de elevação a partir do par estereoscópico do sensor ASTER foi feita com base no software AsterDTM, que trabalha em conjugação com o software Envi/RSI (cf. Steinmayer, 2003). No ambiente do AsterDTM, a correção geométrica entre as imagens 3B e 3N foi feita através dos dados efeméricos do satélite, contidos no arquivo HDF da imagem ASTER. Esses dados foram processados de forma automática, resultando em imagens quase epi-polares (e.g., pixels observados em nadir). Mais de 100 pontos de controle internos foram utilizados, a partir dos quais as imagens foram projetadas para o elipsóide WGS-84 e com elevação artificial zero – com esse procedimento, qualquer deslocamento entre as duas imagens é proporcional à altitude na imagem 3N. Com um sistema referencial comum às imagens estereoscópicas sendo atingido, o deslocamento, ou paralaxe, entre as mesmas foi medido através do método de correlação, de forma que para cada pixel na imagem 3N, o deslocamento em pixels na imagem 3B equivalente é proporcional à altimetria nesse pixel. Uma descrição mais completa sobre a geração de DEMs a partir do sensor ASTER e do software AsterDTM pode ser encontrada em Steinmayer (2003). O ASTER permite a geração de MDEs com resolução espacial máxima de até 15m (= resolução das bandas 3N e 3B) e, opcionalmente, de 30m. A geração de modelos com resolução máxima demanda um tempo maior de processamento, embora diferenças de elevação mínimas foram notadas entre DEMs gerados nas duas resoluções. Dessa forma, neste trabalho, os MDEs do ASTER foram gerados com a resolução de 30m.

- **CBERS**: Até o presente momento, poucos pares estereoscópicos do sensor CCD do CBERS II foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), instituição responsável pela parte brasileira do satélite. Dentre estes, apenas um par (órbita/ponto: 156-122) possui boa qualidade em relação à ausência de nuvens. As imagens foram fornecidas em dois níveis: "level 1", apenas com correção radiométrica e "level 2", com correção radiométrica e geométrica do sistema. Quanto a este último quesito, as imagens fornecidas apresentaram erros relativamente altos de georreferenciamento. As imagens do par 156-122 possuem um deslocamento na direção leste-oeste e norte-sul de ordem kilométrica. O esforço no sentido de corrigir estas distorções vem dificultando a elaboração de DEMs a partir de imagens CBERS com qualidade suficiente para que estes possam ser comparados com aqueles gerados a partir das imagens ASTER e pela SRTM. Procedimentos estão sendo

desenvolvidos no sentido de tornar todo o processo de geração o mais automático possível e na forma de um software similar ao AsterDTM.

Para se promover uma comparação quantitativa dos MDEs, antes foi necessário um redimensionamento dos pixels das imagens para uma resolução comum. Dessa forma, o MDE derivado do SRTM foi artificialmente re-amostrado, por interpolação (método do vizinho mais próximo), para a resolução de 30m, compatível com o MDE do ASTER.

Os dois modelos gerados foram comparados tanto qualitativamente, quanto quantitativamente. Além da comparação direta entre as feições do relevo, curvas de nível foram extraídas num espaçamento de 30m e confrontadas. Já quantitativamente, dois procedimentos foram utilizados para a comparação entre os dados: subtração de imagens e extração de perfis em posição geográfica exatamente análoga entre os MDEs.

#### 4. Resultados

Nas **Figuras 2 e 3**, é possível visualizar os MDEs gerados a partir do ASTER e SRTM em 2,5 D. Nota-se que, de forma geral, as principais feições do relevo (vales, drenagens, escarpas e etc) são comuns a ambas as imagens. O modelo ASTER apresentou 381m como altitude mais baixa e 1143m como a mais alta, enquanto o modelo SRTM trouxe as altitudes 450m e 1077m, respectivamente.

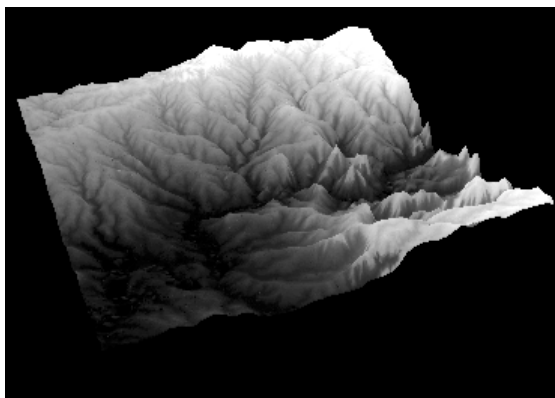


Figura 2. Modelo Digital de Elevação - ASTER

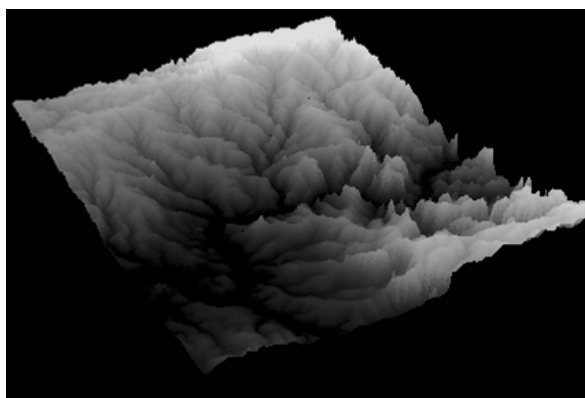


Figura 3. Modelo Digital de Elevação - SRTM

Subtraindo-se um MDE do outro é possível verificar-se em quais locais houve maior discrepância entre os dois modelos. A **figura 4** ilustra, em azul, locais onde o modelo SRTM mostrou coordenadas mais altas que o modelo ASTER e, em vermelho, locais onde o modelo ASTER apresentou esse comportamento em relação ao modelo SRTM. A discrepância máxima negativa (em que os valores do MDE ASTER foram menores que os do SRTM) foi de -118m e a máxima positiva (em que se deu o contrário) foi de 161 m.

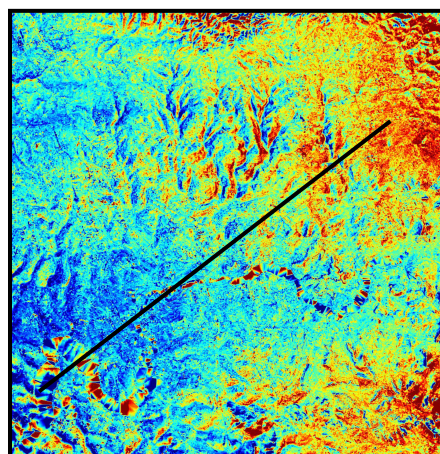
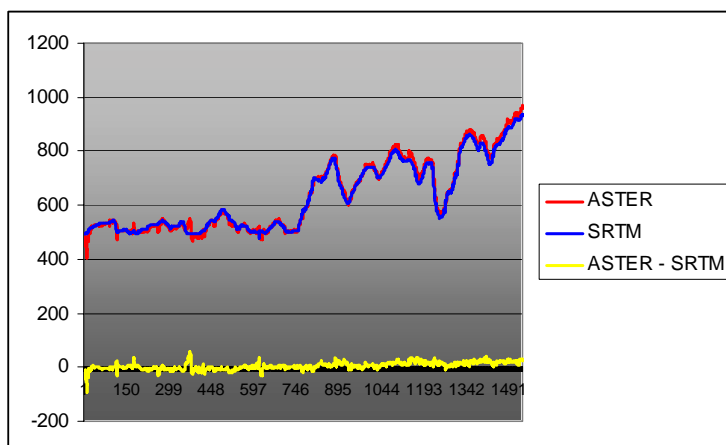


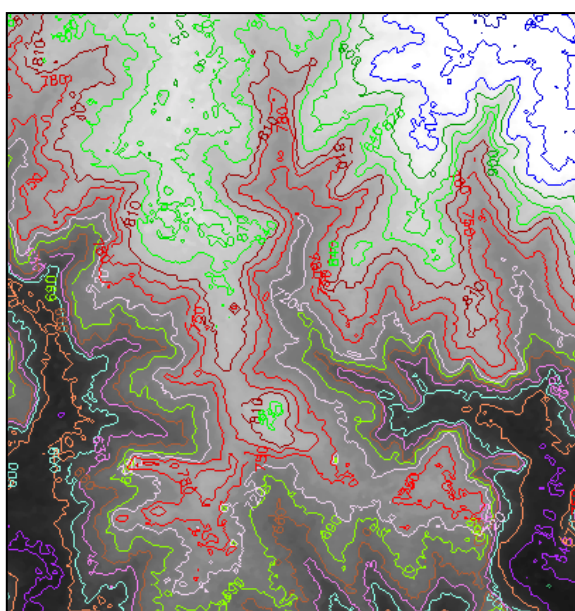
Figura 4. Subtração dos MDEs extraídos dos dados do sensor ASTER e do SRTM.

A **figura 5** mostra a comparação de perfis topográficos extraídos de cada um dos modelos, a partir dos quais pode-se perceber, qualitativamente, uma correlação extremamente alta entre os mesmos. O perfil ASTER apresentou a altitude mínima de 405m e máxima de 968m, enquanto o perfil SRTM apresentou os valores 479m e 936m, respectivamente. Subtraindo-se o perfil SRTM do perfil ASTER tem-se uma discrepância mínima de -92m, uma discrepância máxima de 52m, com uma discrepância média absoluta de 10,6m e um desvio padrão de 9,1m, o que mostra que se pode, também quantitativamente, afirmar a existência dessa alta correlação.

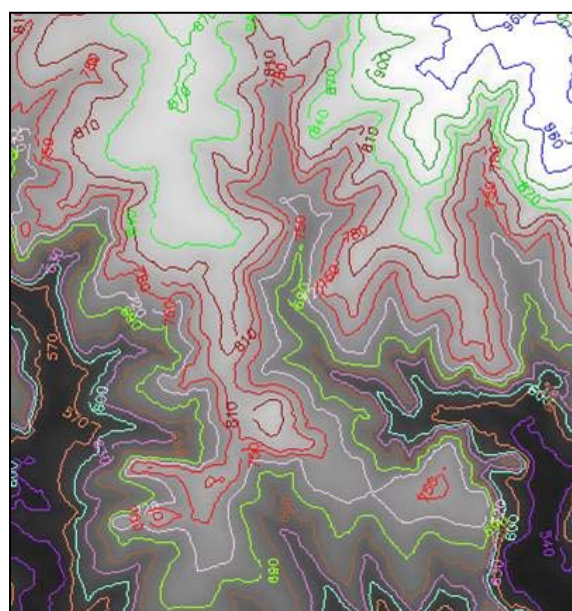


**Figura 5.** Comparação entre perfis topográficos extraídos dos MDEs do ASTER e do SRTM. A localização do perfil aparece na Figura 4.

As **figuras 6 e 7** mostram um detalhe da área em que as curvas de nível foram extraídas. Nelas é possível notar a alta semelhança entre as curvas geradas a partir dos dois MDEs. Nota-se, também, um detalhamento um pouco maior no mapa extraído do MDE ASTER, conseqüência da maior resolução espacial dos dados de origem.



**Figura 6.** Detalhe das curvas de nível extraídas do MDE ASTER. Espaçamento de 30m.



**Figura 7.** Detalhe das curvas de nível extraídas do MDE SRTM. Espaçamento de 30m.



## 5. Considerações Finais

O Modelo Digital de Elevação é um produto com aplicações das mais diversas no ramo das geotecnologias, sendo que a sua importância vai muito além de unicamente representar a paisagem de uma maneira mais agradável, em 3 dimensões. Dentre as várias aplicações às quais ele pode auxiliar podemos citar: modelamento hidrológico, cálculo de volumes, implantação de antenas de rádio-transmissão, simuladores de vôo, mapeamento geológico e geomorfológico, extração de curvas de nível, geração de mapas de declividade e de orientações de vertentes, orto-retificação de imagens, dentre muitas outras.

Obviamente, a potencialidade desses modelos será função da sua resolução horizontal e vertical. Isto inclusive determinará a escala em que eles poderão ser utilizados. Os modelos trabalhados até agora permitem-nos afirmar sua viabilidade até uma escala de 1:50.000, o que já é algo extremamente interessante para boa parte das aplicações mencionadas. Além disso, o Brasil carece de cartas-base de maior detalhe, visto que, aquelas produzidas pelo IBGE cobrem porções restritas do território nacional.

Desta forma, uma comparação com intuito de avaliar a performance locacional e altimétrica de diferentes MDEs gerados a partir de dados gratuitos (SRTM e CBERS) ou comercializados a preços simbólicos (ASTER), é algo de extrema relevância para o público usuário.

## 6. Referências Bibliográficas

Abrams, M.; Hook, S. **Aster User Handbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer**. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, V2, 135p, 2002.

Batenson, I.; Tragheim, D. DEM generation from ASTER data; a comparison of methods and accuracies. **GRSG Newsletter**. vol. 34. p. 25-29. 2003.

Gamache, M. Guild, A. **Free and Low Cost Datasets for International Mountain Cartography**. Disponível em: [http://www.icc.es/workshop/abstracts/ica\\_paper\\_web3.pdf](http://www.icc.es/workshop/abstracts/ica_paper_web3.pdf) Acesso em: 17 ago. 2004.

Kaab, A. Monitoring high-mountain terrain deformation from repeated air- and spaceborne optical data: examples using digital aerial imagery and ASTER data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. N. 57. p. 39-52. 2002. Disponível em: [http://www.geo.unizh.ch/~kaeaeb/kaab\\_isprs.pdf](http://www.geo.unizh.ch/~kaeaeb/kaab_isprs.pdf). Acesso em: 1 jul. 2003.

Pinheiro, E. S.; Kux, H. J. H.; Análise e validação de modelos digitais do terreno num relevo escarpado da Mata Atlântica – RS, área teste: CPCN Pró-Mata.. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 365-372. Disponível na biblioteca digital URLib: <[tid.inpe.br/sbst/2002/11.13.11.42.50](http://tid.inpe.br/sbst/2002/11.13.11.42.50)>. Acesso em: 1 nov. 2004.

Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission – A New Class of Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 57:241-262.

Souza Filho, C. R. **Aster à vista**. *Infogeo*, V. 29, p. 62-64, 2003.

Steinmayer, M. Extração de Modelos Digitais de Terreno como sensor Aster. *Infogeo*, n. 38, p. 38-39, 2003.

Subramanian K.S.S.; Singh, A.; Sudhakar, M.; **Evaluation of Digital Elevation Models created from different satellite images**. GIS Development. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/mi03079.htm>>. Acesso em: 10 set. 2004.

Toutin, T.; Cheng, P. **Comparison of automated digital elevation model extraction results using along-track ASTER and across-track SPOT stereo images**. Natural Resources Canada. Disponível em: <<http://sst.rncan.gc.ca/esic/ccrspub-cctpub/pdf/13217.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2004.