

## Otimização de modelo digital de elevação - ASTER utilizando análise geoestatística

Célia Regina Grego<sup>1</sup>  
Raquel Martins Long<sup>2</sup>  
Luiz Eduardo Vicente<sup>1</sup>  
Daniel Gomes dos Santos Wendriner Loebmann<sup>1</sup>  
Laura Barbosa Vedovato<sup>3</sup>  
Bianca Pedroni de Oliveira<sup>1</sup>  
Janice Freitas Leivas<sup>1</sup>  
Daniel de Castro Victória<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite – CNPM  
Caixa Postal 13070-115 Campinas, SP - Brasil  
{crgrego; vicente; bianca; janice; danielgomes; daniel}@cnpm.embrapa.br

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica de Campinas – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de  
Tecnologias – PUCCAMP  
Caixa Postal: 13086-900 Campinas, SP - Brasil  
raquel.long@ymail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Instituto de Biociências de Rio  
Claro. Caixa Postal 3506-900 - Rio Claro, SP – Brasil  
laura@cnpm.embrapa.br

**Abstract.** The Digital Elevation Models (DEM), in which concerns the obtaining the original altimetry values of planified areas, can be optimized through usage of Interpolation by the Geostatistical analyses. The main goal of this piece is optimize DEM data in semi-detail scale obtained in the ASTER sensor from the City of Campinas, through the usage of Geostatistical analyses and validated with a Digital terrain elevation (MDT) obtained with 1:50 000 imagery. DEMs were gathered from the ASTER image and points were selected for geostatistical analyses (elaboration, semivariogram adjustments and interpolation with ordinary kriging). The DEM maps were spatially and compared with each other by the correlation and regression method of analysis. Spatial dependence was found in the DEM semivariograma adjustment by the exponential model after the parabolic tendency was removed. Visually, the three maps seem very alike. The analysis of correlation of the selected points that were coincidental in both MDE meshes (kriging, ASTER and MDT ) with the one obtained with the 1:50 000 imagery (considered as field validation), indicated the correlation coefficient was higher, in total and in quartiles, in the data interpolated by ordinary kriging. Therefore, the geostatistical analysis minimized the error possibilities in data spatialization, enhancing the DEM mapping precision.

**Palavras-chave:** Orbital images, kriging, interpolation, altimetry, imagens orbitais, krigagem, interpolação, altimetria.

## 1. Introdução

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são representações contínuas da topografia do terreno distribuída espacialmente às variações de altitude numa área de interesse determinada. Estes modelos podem ser interpolados espacialmente e otimizados no que tange a obtenção de valores altimétricos originais de áreas planificadas como é o caso de áreas urbanas, por exemplo.

O levantamento de dados para a construção dos MDEs pode derivar de levantamentos de campo, aerofotogrametria, imagens de satélite, ou captura de dados cartográficos. Para as imagens de satélite, hoje em dia, temos diversas fontes de obtenção, devido ao crescente número de satélites, para fins relacionados, em órbita em torno da Terra.

A escolha do tipo de imagem de satélite depende do objetivo que se pretende atingir. Em período recente observa-se uma crescente disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação para grandes áreas, como o SRTM (Space Shuttle Topographic Mission) obtido através de radar interferométrico lotado na missão do ônibus espacial Endeavour, que, segundo Dumoulin (2005) foi lançado pela primeira vez em 1992 e teve como primeira missão interceptar e relançar um satélite que saíra da rota padrão. O SRTM possui 90 metros de resolução espacial para o território brasileiro, conforme explicita o site informacional da NASA, e apresenta uma versão com 30 m de resolução disponibilizada pelo projeto Topodata (2010). Mais recentemente é possível o acesso a dados de MDE com 30 metros de resolução nativa para todo o planeta oriundos do sensor ASTER através do projeto GDEM. O sensor ASTER opera a bordo do satélite Terra, lançado pela NASA em 1999, coletando dados desde Fevereiro de 2000. Ademais, com a utilização de imagens originais nível 1A do ASTER é possível otimizar substancialmente a referida resolução dos MDEs, segundo Hirano et. al (2002). Entretanto, para estes sensores, devido aos comprimentos de onda, não existe a transposição de obstáculos como grandes estruturas em dossel vegetal ou equivalente, inviabilizando assim medidas mais próximas dos valores reais do terreno.

Tradicionalmente, métodos de correção são aplicados para suplantar tal problema, bem como melhorar a resolução original dos sensores segundo Valeriano e Albuquerque (2012). Nesse sentido o ASTER apresenta uma série de vantagens ainda pouco exploradas, por isso, este trabalho apresenta uma forma de otimização e avaliação de um MDE a partir da interpolação espacial de dados altimétricos originais nível 1A ASTER do município de Campinas, incluindo as áreas urbanas planificadas, realizando uma supressão de dados espúrios ou de falsa elevação de superfície através da implementação de máscaras de uso e cobertura da terra. A área do município de Campinas representa um desafio em termos de modelagem do relevo devido a sua alta variabilidade, bem como a presença de edificações e vegetação diversa.

O uso da análise geoestatística é de grande utilidade neste processo de otimização, pois segundo Bettini (2006), minimiza as possibilidades de erro na espacialização dos dados, aumentando assim, a precisão dos resultados obtidos.

Segundo Vieira (2000) e Deustch e Journel (2000) a geoestatística oferece um conjunto de ferramentas determinísticas e estatísticas, que têm o objetivo de compreender e modelar a variabilidade espacial, que fornecem estimativas não enviesadas de valores no espaço a partir de um conjunto de observações recolhidas em várias localizações, e que usam o modelo de covariâncias espaciais, estimado a partir dos dados observados. Segundo Chuvieco (2010) e Jensen (2009), a geoestatística utiliza pontos com valores conhecidos, para estimar valores de outros pontos, e diz respeito, portanto, a um conjunto de técnicas que visam a criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais, baseando-se no pressuposto que os pontos que estão mais próximos no espaço tendem a apresentar valores de atributos semelhantes.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi otimizar dados de MDE em escala de semi-detulhe obtidos do sensor ASTER do município de Campinas utilizando a análise geoestatística. Para

tanto, a interpolação por krigagem foi realizada para gerar o mapeamento de MDE que permita a extração de informações em grande escala no estudo do relevo do município de Campinas.

## 2. Metodologia de trabalho

O trabalho foi realizado para o município de Campinas, localizado no estado de São Paulo, no Brasil, situado a 22°54'21" de latitude sul e 47°03'39" de longitude oeste.

Segundo dados da SEPLAN, o ponto mais alto do município apresenta altitude de 1033 m e as menores altitudes se verificam em 568 m. Geomorfologicamente, a cidade de Campinas localiza-se em uma área de transição entre a Depressão Periférica Paulista, a oeste do município, e o Planalto Ocidental, a leste (Figura 1).

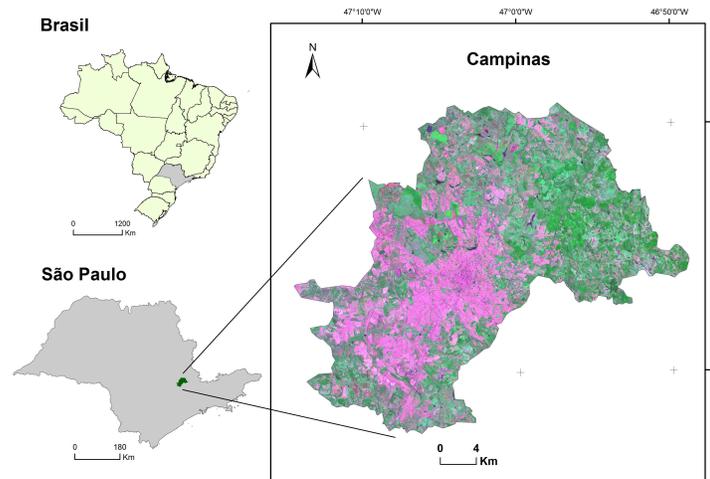


Figura 1. Área de Estudo. Imagem Aster Campinas, canal RGB: 2,3,1.

Foram utilizadas imagens orbitais do sensor ASTER nível 1 A, que possuem 15 m de resolução nativa no sensor lançado pela NASA em 1999. O ASTER fornece imagens de alta-resolução da Terra em 14 comprimentos de onda diferentes; variando do espectro visível à luz infravermelha. A resolução das imagens varia de 15 a 90 metros. Os dados do ASTER são usados para criar detalhados mapas de temperatura de superfície, emissividade, refletividade e elevação.

O modelo digital de elevação foi resultado da compilação dos dados ASTER através da aplicação do programa ENVI<sup>®</sup>. Foi utilizado o aplicativo ASTERDTM que extrai os dados de posicionamento e deslocamento contidos nos arquivos de metadados ASTER, no formato Hierarchical Data Format (HDF). O procedimento de extração baseia-se num conceito básico de estereoscopia, o base-to-height ratio (B/H) com fundamentos na semelhança de triângulos, onde variáveis conhecidas como a altitude do sensor (~705 km), e a base (distância percorrida entre o imageamento Nadir e a retro-visada - ~ 370 km) fornecem um quociente traduzido em valores Z. Para isso é fundamental que ambas as imagens sejam corrigidas geometricamente, compartilhando o mesmo referencial cartográfico (WGS84) e assumindo uma elevação artificial igual a zero. Foram usados cerca de 130 pontos de controle extraídos automaticamente do conjunto de metadados, onde são feitos ajustes e correções numéricas no ângulo de apontamento do instrumento no VIS/IVP para que as imagens tornem-se quase que epi-polares (nadir). A exatidão desse procedimento garante que todo o deslocamento entre as duas imagens seja traduzido em valores altimétricos, gerando o efeito de paralaxe, o qual

pode ser medido mediante a aplicação de um método de correlação, no caso do ASTERDTM é utilizada a correlação cruzada normalizada (Steinmayer, apud Vicente et. al 2006).

Para a supressão de alvos com influência nos valores altimétricos de superfície como vegetação, prédios e edificações, foi elaborada uma máscara com base em valores de NDVI e as áreas de solo foram obtidas. Os pixels com NDVI abaixo de 0,5 foram considerados como área de solo exposto. A área urbana consolidada do município de Campinas também foi excluída da máscara final. Um conjunto de pontos georreferenciados foi gerado a partir desta máscara (Figura 2) que por sua vez foram submetidos a análise geoestatística.

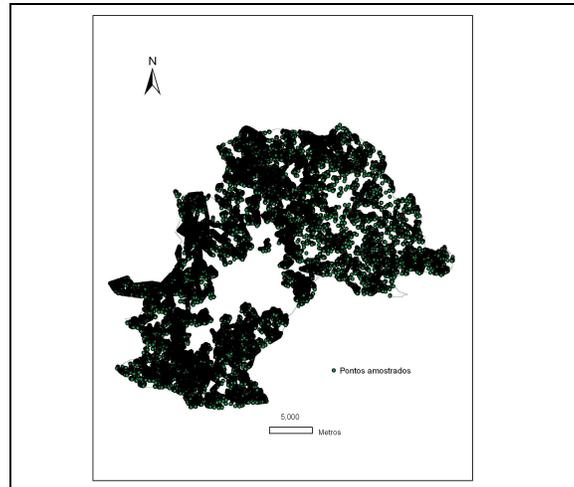


Figura 2. Grade de pontos georreferenciados de valores de MDE da máscara obtida pelo sensor ARTER no município de Campinas, SP.

Para a substituição dos pixels com valores espúrios foi feita a interpolação dos dados através da análise geoestatística que parte da premissa de que dados vizinhos possuem dados mais similares do que os mais distantes.

A análise geoestatística foi descrita por Vieira (2000) partindo das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca. A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância  $\gamma(h)$  estimada pela equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (1)$$

Onde  $N(h)$  é o número de pares dos valores medidos ( $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$ ), separados por um vetor  $h$ , que é a distância determinada a partir das coordenadas dos valores medidos. O cálculo da equação (1) gera valores de semivariâncias correspondentes a distâncias, cujo gráfico se chama semivariograma. A construção e ajuste do semivariograma de MDE expressou a existência de dependência espacial e os dados foram espacializados por krigagem ordinária que interpola valores sem tendência e com variância mínima.

Os valores interpolados foram utilizados para a construção do mapa de isolinhas de MDE em ambiente SIG. A validação da otimização do mapa interpolado por geoestatística comparado com o original do sensor ASTER e MDT obtido por cartas de 1:50000 do município de Campinas (considerado a verdade de campo), foi realizada por meio da análise de correlação e regressão.

### 3. Resultados e Discussão

Os mapas de MDE obtidos pelo sensor ASTER e pelas cartas de 1:50000 estão na Figura 3. Verifica-se visualmente semelhanças entre eles, porém o obtido pela carta MDT mostra valores maiores na porção leste do município de Campinas.

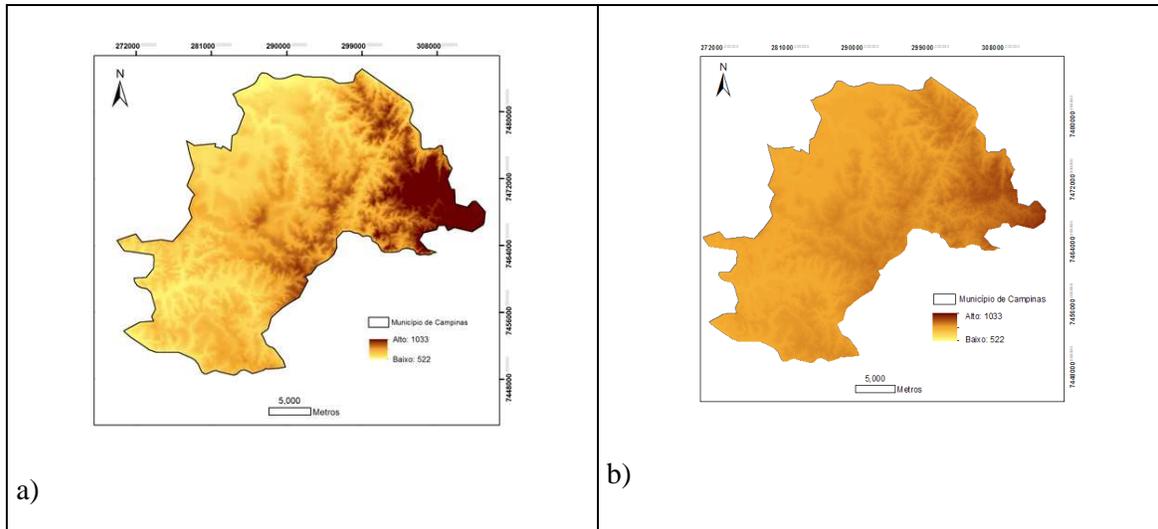


Figura 3. Modelo digital de elevação do município de Campinas derivados de: a) Carta MDT de 1: 50000; b) Imagem ASTER.

Houve dependência dos dados obtidos pela máscara de MDE do sensor ÁSTER, porém houve a necessidade de retirada de tendência parabólica para ajuste ao modelo exponencial. Segundo Vieira (2000) dados de relevo geralmente apresentam tendência e a retirada de tendência faz-se necessária neste caso.

O mapa de isolinhas após krigagem ordinária (Figura 4) mostra grande semelhança com os demais mapas (Figura 3). A validação desta semelhança foi realizada pela análise de correlação e regressão (Tabela 1 e Figura 5).

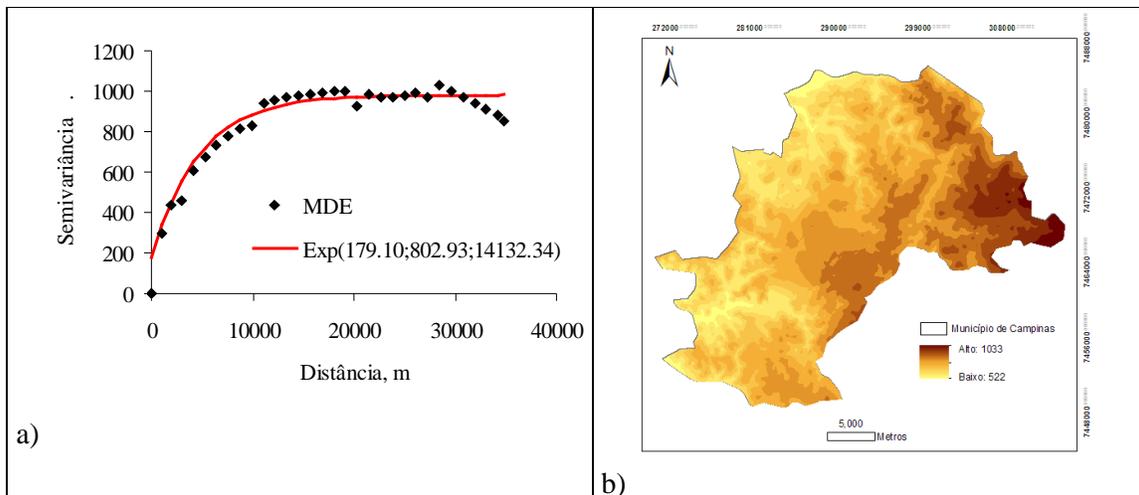


Figura 4. Semivariogramas de MDE ajustado pelo modelo exponencial após retirada de tendência parabólica (a) e Mapa de isolinhas dos dados interpolados por krigagem ordinária (b).

A análise estatística descritiva dos dados submetidos a análise geostatística e a análise de correlação entre valores de MDE por quartil entre MDE ASTER e MDE Krigagem

ordinária estão na Tabela 1. Verifica-se que houve maior correlação entre os dados espacializados por krigagem em todos os quartis.

Tabela 1. Análise estatística descritiva dos dados de MDE extraídos do sensor ASTER e análise de correlação entre valores de MDE por quartil entre MDE ASTER e MDE Krigagem ordinária.

Variável	Estatística Descritiva				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
MDE (m)	625,73	520	1040	60,73	9,71
Coeficiente de Correlação					
	<i>MDE - Aster</i>		<i>MDE - Krigagem ordinária</i>		
MDT - CARTAS 1:50.000 (TODOS)	0,983		0,996		
MDT- CARTAS 1:50.000 (Primeiro Quartil)	0,720		0,917		
MDT - CARTAS 1:50.000 (Segundo Quartil)	0,534		0,824		
MDT - CARTAS 1:50.000 (Terceiro Quartil)	0,990		0,994		

A regressão entre MDE obtido por krigagem e MDT das cartas de 1:50000 (Figura 5) evidencia a forte correlação entre eles e que a geoestatística aplicada a dados de MDE utilizando a Krigagem como método de interpolação melhor expressa as formas do relevo. Por ser fundamentada na estatística, a krigagem possibilita melhorias dos dados ASTER, visando a geração de um MDE que permita a extração de informações em escala grande para obtenção de melhores resultados no estudo do relevo do município de Campinas.

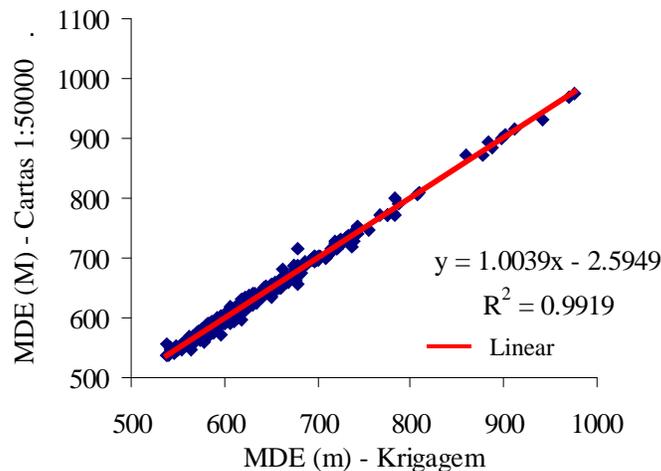


Figura 5. Regressão entre os dados de MDE obtidos por krigagem ordinária e pelas cartas 1:50000

#### 4. Conclusões

Houve dependência espacial para MDE obtido pelo sensor ASTER e forte correlação entre os modelos espacializados.

A análise geoestatística, utilizando a Krigagem como método de interpolação expressou as formas do relevo e possibilitou melhorias dos dados ASTER, gerando melhorias nos resultados do relevo do município de Campinas.

### **Agradecimentos**

À equipe de pesquisa e desenvolvimento do projeto Agspec da Embrapa (CNPQ) e respectivos parceiros pelo apoio às atividades desenvolvidas nesse trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

BETTINI, C. **Conceitos básicos de geoestatística**. In.: Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p. 192-234.

CHUVIECO, E. **Teledicción Ambiental – La Observación de La Tierra desde el Espacio**. Huertas Industrias Gráficas, Espanha, 2010.

DEUSTCH C.V., JOURNAL A.G. **Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, Nova Iorque – EUA, 2000.

DUMOULIN, J. **Endeavour (OV-105)**. Disponível em: <<http://science.ksc.nasa.gov/shuttle/resources/orbiters/endeavour.html>>. Acesso em: 13 de nov. 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Ed. Parêntese, São José dos Campos - SP, 2009.

NASA. **SRTM**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Com acesso em 13 de novembro de 2012  
SEPLAN. **Monografia dos Marcos Geodésicos**. Disponível em: <<http://www.planejamento.sp.gov.br/>>. Acesso em: 13 de nov. 2012.

VALERIANO, M. ALBUQUERQUE, P. **Topodata: Processamento dos Dados SRTM**. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 13 de nov. 2012.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R.; PEREZ FILHO, A. **Elaboração de Modelos Digitais de Elevação para Estudos Geomorfológicos Através de Sensores Orbitais: Validação de Dados Altimétricos ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)**. IGE – Unicamp. 2006

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.