

Avaliação da interpolação de dados SRTM-90 m através de dados SRTM-30 m do território americano

Fábio Iwashita¹

Carlos Roberto de Souza Filho¹

¹Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
{iwashita, beto}@ige.unicamp.br

Abstract: The spatial resolution of SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) digital elevation models, currently available is set at 90m (or ~3") and ~30m (or ~1") for the USA territory. Refining the 90m grid through geostatistic methods has been an approach adopted by several users. However, models based on semivariograms generally exhibit distinct parameters for each sampled area. These particularities raise questions over the application of the same model throughout larger scales. The assessment of the interpolation effectiveness is another research topic of interest. This paper presents a methodology to measure the strength of SRTM data interpolation from 90m to 30m, and the feasibility to apply a single variogram model to larger areas. The study region lies near the Rocky Mountains in Montana State, USA. Initially, the SRTM was resampled from 30m to 90m, and then kriged to 30m. This interpolated data was compared with the 30m original grid through map algebra. The results from layers subtraction were evaluated with descriptive statistics and linear regression, and hypothesis test for $\beta_1=1$ e $\beta_0=0$. The regression residuals shows a submetric mean and the regression test accept the null hypothesis for both tests. These outcomes support the adoption of the kriging method for interpolation of SRTM-90m and the use of the same model adjusted for a sampled area to larger regions.

Palavras-chave: digital elevation model, interpolation, geostatistic, linear regression, modelos digitais de elevação, interpolação, geoestatística, regressão linear.

1. Introdução

Os modelos digitais de elevação (MDE) são fontes fundamentais para extração de informações do relevo em grandes áreas ou de difícil acesso. A partir de dados de elevação são extraídas medidas morfométricas como declividade e aspecto do terreno, que por sua vez podem ser empregadas em uma diversidade de estudos, como em modelos de erosão laminar do solo (Araújo, 2006), modelos meteorológicos (Goovaerts, 2000), riscos de escorregamento em encostas (Kääb, 2002), mapas de aptidão agrícola (Sommer et al., 1998), extração de feições geológicas (Demirkesen, 2008; Masoud e Koike, 2006) e na caracterização de estruturas florestais (Nelson et al., 2007).

Este trabalho emprega os dados, disponíveis globalmente, gerados pela missão do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), com resolução espacial de 3 arcsec ou ~90 metros, que pode ser melhorada através de métodos de interpolação. Para o território americano os dados são disponibilizados na resolução original, superior, de 1 arcsec ou ~30m.

A importância de uma alta resolução espacial reside nas aplicações dos produtos derivados dos MDE. A geração de grades de 30m, por interpolação geoestatística, foi adotada em alguns trabalhos recentes (Rosseti e Valeriano, 2007; Araújo, 2006; Grohmann, 2006; Valeriano et al., 2006; Yun et al., 2005), onde a avaliação dos dados se apoiou na forma de estatística descritiva, perfis do terreno e na preservação das características morfométricas do terreno. Valeriano et al. (2006) constataram que uma boa análise geoestatística é fundamental para a preservação das feições do terreno.

O semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico e, para sua construção, são usadas simplesmente as diferenças ao quadrado de pares dos valores obtidos, assumindo-se uma estacionaridade nos incrementos (Landim, 1998). O semivariograma é uma medida da variabilidade em relação à distância. Tal variabilidade é bastante diferente quando consideradas diferentes direções (Iwashita et al., 2005).

Uma parte fundamental da geoestatística refere-se à determinação do modelo de semivariograma, visto que essa se apóia nos parâmetros dos modelos variográficos teóricos. Dessa maneira, para uma interpolação com resultados mais confiáveis deve haver um bom ajuste do modelo ao semivariograma experimental, considerando que diferentes estruturas de relevo podem levar a diferentes modelos de variogramas. Ao trabalhar com grandes áreas, encontra-se um problema operacional, ou seja, a necessidade de ajustar um grande número de modelos variográficos embasados em amostras.

A partir destes problemas surgem algumas questões: Qual a qualidade de uma grade de 90m interpolada para 30m em relação ao produto original de 30m? Um modelo variográfico gerado para uma área em particular é aplicável a uma região mais extensa no 'bloco' SRTM em que a mesma se encontra? Para responder a estas perguntas, este trabalho parte da premissa que é possível validar a interpolação de dados SRTM-90m com dados originais SRTM-30m através de sua reamostragem.

Nesse contexto, utilizando uma área de estudo nos EUA (para qual existem dados SRTM na resolução original máxima), os objetivos deste trabalho são: (a) refinar uma grade SRTM-90m reamostrada para 30m através da krigagem, (b) verificar a aplicabilidade de modelos variográficos com parâmetros gerados em diferentes regiões dentro da área de estudo, e (c) avaliar os resultados da interpolação, através de operações de geoprocessamento, estatística descritiva e regressão linear dos métodos geoestatísticos, além da aplicação de diferentes modelos de variogramas com diferentes parâmetros para áreas distintas.

4. Metodologia

A área de estudo é uma região no estado americano de Montana (Figura 1), o quarto maior estado americano em área, mas um dos menos povoados do país, com uma população de 902.194 habitantes. O estado exibe uma cobertura vegetal pobre e uma baixa densidade demográfica (2,39 hab/km²), o que facilita a caracterização morfométrica, pois cidades e estruturas florestais alteram algumas feições do terreno capturadas pelo radar. Considerando o relevo, o estado pode ser compartimentado em duas grandes regiões: a leste é dominado pelas Grandes Planícies e a oeste é dominado pelas Montanhas Rochosas.

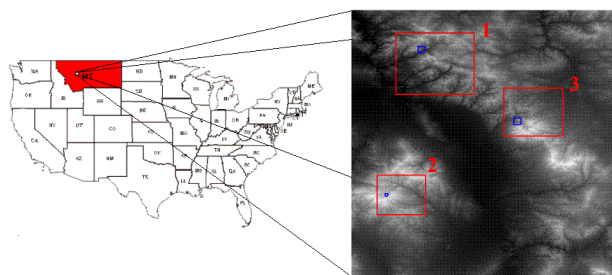


Figura 1 – Áreas amostrais em azul e áreas teste em vermelho

O processamento dos dados consistiu na reamostragem da cena de 30 metros de resolução espacial para 90 metros (Figura 2), seguido da escolha de três áreas amostrais para a construção dos semivariogramas e três áreas para implementação da krigagem ordinária (Figura 1), buscando incluir a diversidade e variabilidade do relevo. Cada área amostral possui aproximadamente 900 pontos e as áreas de implementação de 250 a 400 mil pontos. A partir destas amostras com 90

metros de resolução espacial, foram realizadas análises de tendências de 1ª ordem e extraídos os resíduos da função com os quais foram gerados os modelos dos semivariogramas.

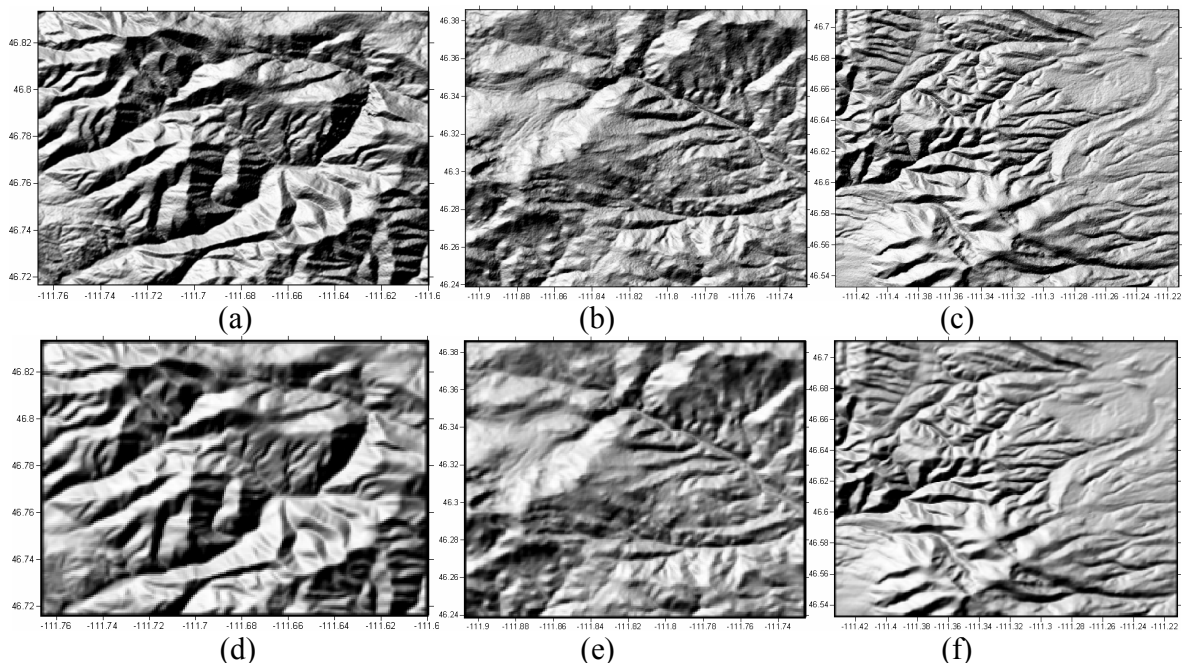


Figura 2 – Áreas 1(a), 2(b) e 3(c) com resolução de 30 metros (grade original). Áreas 1(d), 2(e) e 3(f) com resolução de 90 metros (grade reamostrada).

Valeriano (2004) realizou análises de dados SRTM onde empregou a krigagem ordinária para gerar modelos digitais de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros para a América do sul. Neste trabalho é apresentada uma proposta de metodologia para a validação dos dados interpolados, através da subtração entre as camadas originais, do produto americano, e os refinados pela krigagem ordinária (Figura 3). Será obedecida a metodologia de Valeriano (2004), o autor elaborou um procedimento buscando a padronização e a minimização da subjetividade no processo de refinamento das grades SRTM-90m.

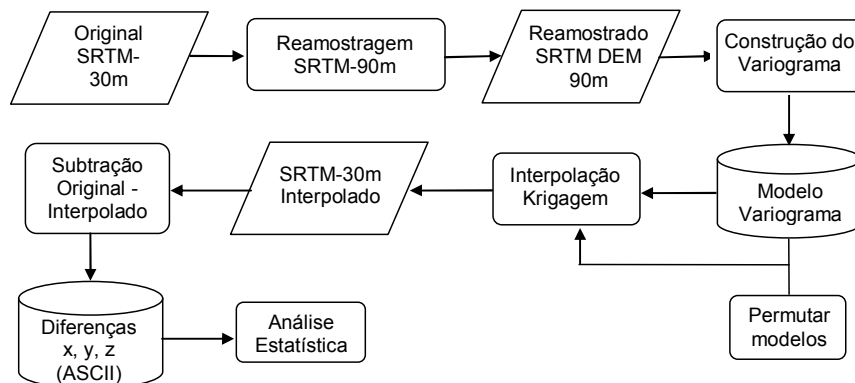


Figura 3 – Metodologia proposta para a validação das superfícies interpoladas

Ressalta-se a existência de dois conjuntos de resultados: (i) as superfícies interpoladas comparadas ao produto de 30m que não sofreu nenhum tratamento e (ii) os resultados com modelos permutados comparados com as outras interpolações (Figura 4).

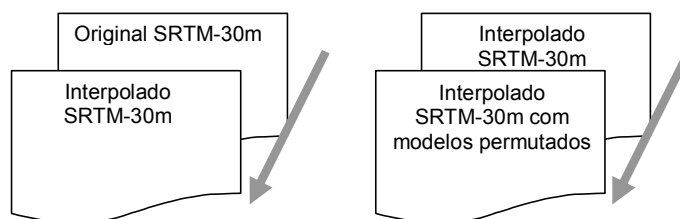


Figura 4 – Dois grupos de resultados avaliados: as superfícies comparadas ao SRTM-30m original e as superfícies comparadas com os modelos trocados.

A avaliação da interpolação tem como objetivo verificar se o modelo adotado, bem como se seus parâmetros, são adequados para representar a variabilidade espacial da variável (Isaaks e Srivastava, 1989). Se o modelo adotado for adequado, os resíduos da diferença têm média próxima a zero e há uma relação linear entre os valores verdadeiros e os calculados. Apoiada nessa premissa, a estatística descritiva dos resíduos e a correlação entre os dados interpolados e os originais foram os métodos adotados para a validação da interpolação. Em síntese, uma boa interpolação é aquela que gera resultados com mínima diferença do valor tomado como real do estimado pela interpolação. Nesse caso, as diferenças entre os elementos das superfícies em um caso ótimo devem ser zero. Assim, a análise exploratória fornece uma primeira idéia da qualidade do procedimento. Idealmente almeja-se que a média seja zero e que os valores mínimos e máximos sejam os mais próximos possíveis de zero.

Outra abordagem utilizada para avaliação dos resultados foi a regressão linear (Netter et al., 1996). Foram realizadas regressões entre os resultados das interpolações e a grade original, bem como entre o modelo interpolado e suas respectivas permutações. Quando os resultados de outros métodos ou modelos são estatisticamente iguais ao modelo ideal (modelo 1 aplicado à área um, por exemplo), ou à grade de 30m sem tratamento, a curva da regressão possui inclinação de 45° e passa pela origem. Para a avaliação dos resultados foram realizados testes de hipóteses para $\beta_1 = 1$ e $\beta_0 = 0$.

5. Resultados e discussão

Os modelos ajustados para as três áreas são gaussianos (Figura 5) e contemplam, em essência, variações suaves em vizinhança próxima e altas em distâncias médias. Durante a execução da krigagem ordinária é necessária atenção na escolha do raio de busca, que deve ser razoavelmente coincidente com o valor do alcance do semivariograma, visto que ao atingir o patamar, que possui uma relação com a variância estatística, o variograma exibe apenas a componente aleatória. Os modelos 1, 2 e 3 apresentaram respectivamente os alcances, 734m, 831m e 594m e os patamares 26.000, 3200 e 12.500.

A aplicação de único modelo variográfico, com parâmetros baseados em uma amostra para uma escala mais regional, tem como objetivo principal padronizar e otimizar o processo da geração das grades, buscando manter suas características altimétricas e morfométricas. Dessa forma, procurando conciliar a qualidade da interpolação com os aspectos operacionais, os semivariogramas foram ajustados considerando um modelo isotrópico.

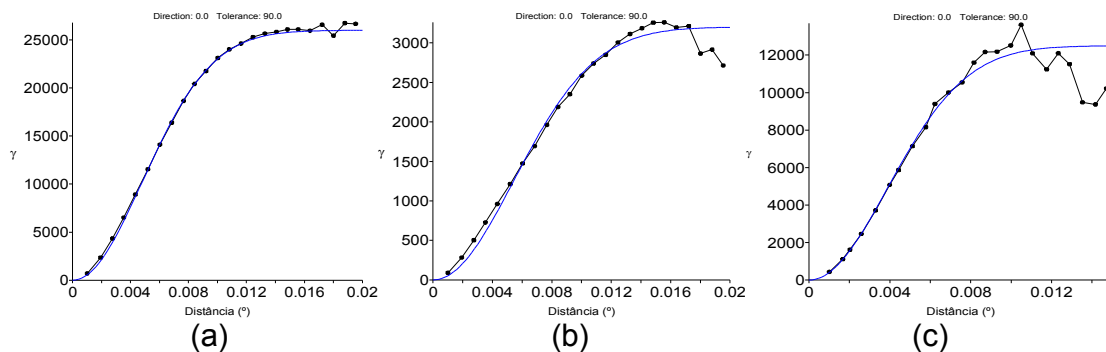


Figura 5 – Variograma da área UM (a) DOIS (b) e TRÊS (c).

Em relação às imagens originais, houve uma suavização das feições após o processo de interpolação. Esse resultado era previsto, pois a krigagem minimiza a variância através do multiplicador de Lagrange. Deve-se ressaltar ainda que esta suavização altera as informações altimétricas, pois a krigagem comporta-se como um filtro passa-baixa. Assim, é importante quantificar as mudanças sobre as informações. Outro ponto é que a interpolação por médias móveis causa a perda de alguns pontos na borda da área de implementação, dependendo do tamanho da máscara; esses pontos devem ser desconsiderados na análise estatística da diferença entre as superfícies.

As grades criadas através dos diferentes modelos variográficos possuem aspectos similares, impossibilitando uma análise visual exploratória (Figura 6). Destarte, são necessárias operações de álgebra de mapas para quantificar essas diferenças, como a subtração entre mapas, aqui utilizada.

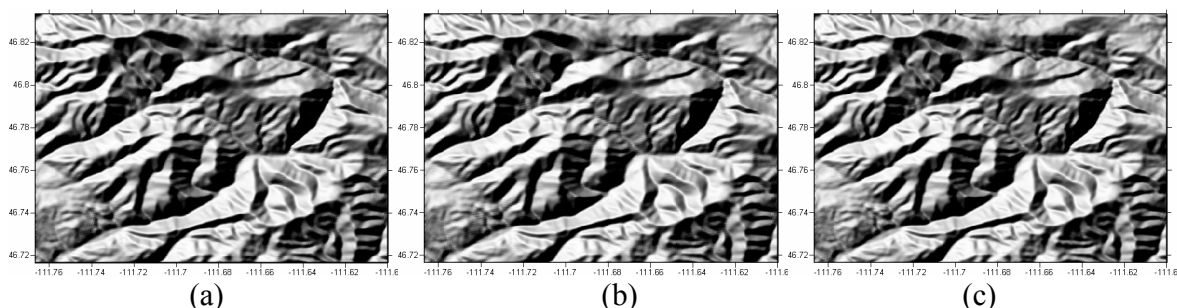


Figura 6 – (a) Área 1 com resolução de 30 metros. Grade interpolada com Modelo UM. (b) Grade interpolada com modelo DOIS (b). Grade interpolada com modelo TRÊS (c).

A Tabela 1 apresenta a estatística dos resultados da subtração da superfície das áreas de 30 metros originais, sem tratamento pelas superfícies geradas pela krigagem. Todas as superfícies interpoladas possuem uma média de diferença submétrica em relação a grade original, seguindo na direção de uma situação ideal de validação. Os quartis também fornecem uma boa percepção da qualidade do refinamento, pois são valores inferiores a 5 metros.

Os resultados produzidos pela krigagem com modelos permutados para uma mesma área possuem diferenças mínimas (Tabela 2). A média das diferenças entre as interpolações é muito próxima de zero, chegando no máximo a 15 centímetros. Os quartis são submétricos em sua maioria, chegando a um erro de apenas 2 metros.

Tabela 1. Análise exploratória da diferença entre os dados originais de 30m e os dados interpolados para 30m.

	Area 1	Area 2	Area 3
Mínimo	-52,08240	-33,25171	-50,34888
Máximo	52,20691	38,42114	41,43335
Média	0,51613	0,38504	0,56486
Mediana	0,38440	0,28076	0,67468
1º quartil	-4,29932	-1,79297	-2,23743
3º quartil	4,96135	2,45508	3,38648
Variância	48,61908	13,02840	25,52344
Desvio Padrão	6,97274	3,60949	5,05207

Apesar destas avaliações se apoiarem em estatística descritiva, os resultados mostram que é possível aplicar o mesmo modelo sobre áreas diferentes, pois os parâmetros estatísticos não foram calculados sobre amostras, mas sobre as populações, fortalecendo a representatividade desses resultados para regiões maiores dentro da mesma cena.

Tabela 2. Análise exploratória da diferença entre os dados interpolados para 30m e os dados interpolados com os modelos permutados. No cabeçalho: AxMy – Área x interpolada com o modelo y.

	A1M2	A1M3	A2M1	A2M3	A3M1	A3M2
Mínimo	-8,47656	-13,7234	-22,2327	-20,8734	-41,047	-22,5671
Máximo	8,540894	11,97839	20,59082	20,23279	38,42249	39,52637
Média	-0,00022	-0,00221	-0,02415	-0,02459	-0,44659	0,000308
Mediana	0,000732	0,000977	-0,1427	-0,15894	-0,05	-0,00147
1º quartil	-0,2915	-0,58447	-2,15723	-2,20532	-1,76514	-0,4679
3º quartil	0,293457	0,579346	1,832886	1,941772	0,767334	0,465454
Variância	0,317973	1,295411	15,22441	15,61725	5,938023	0,980881
Desvio Padrão	0,563891	1,138161	3,901847	3,951866	2,436806	0,990394

A Tabela 3 contém os valores do coeficiente de determinação e dos intervalos de confiança (IC) para β_1 e β_0 a 95%. O R^2 pode ser interpretado como uma medida da proporção do fenômeno modelado explicado pelo modelo de regressão, enquanto o teste para inclinação de β_1 representa a significância da relação linear entre a variável dependente e a preditiva. Nas três áreas, o IC de β_1 contém o valor um, ou seja, a 95% a inclinação de β_1 é igual a 1 para as três áreas. Da mesma forma, para as três áreas o IC de β_0 contém o valor zero, apontando que a 95% todos os interceptos cruzam a origem. Os testes indicam que as superfícies interpoladas possuem uma relação linear $x = y$ com os valores originais a uma significância de 95%.

Tabela 3. Coeficiente de determinação e Intervalo de confiança para β_1 e β_0

	Area 1	Área 2	Area 3
R^2	0,9991	0,9998	0,99970
β_1 Cnf Lmt -95%	0,9970	0,99749	0,99771
β_1 Cnf Lmt +95%	1,006653	1,002405	1,002999
β_0 Cnf Lmt -95%	-11,4071	-5,18813	-6,30184
β_0 Cnf Lmt +95%	5,4214	5,409404	3,633388

6. Conclusões

A contribuição deste trabalho foi comparar o procedimento do refinamento de grades a uma ‘grade de referência’, onde foi possível quantificar o erro da interpolação. Buscou-se analisar a qualidade dos dados SRTM-90m interpolados para 30m, em relação aos dados 30m disponíveis para o território americano.

Conforme apontam os valores resultantes da estatística descritiva das subtrações entre as superfícies e dos testes para β_1 e β_0 , a krigagem ordinária gera resultados significativamente próximos à grade original. As limitações do procedimento são intrínsecas à krigagem ordinária, alteração das informações altimétricas devido à minimização da variância e suavização de feições de alta frequência.

Fundamentado na estatística descritiva, é possível aplicar um modelo variográfico bem ajustado em uma área amostral para regiões mais extensas dentro da cena, pois os diferentes modelos variográficos não apresentam diferenças significativas para uma mesma área.

Espera-se, assim, ter acrescentado novas formas de avaliação para subsidiar a escolha dos métodos, padronizando e otimizando os aspectos operacionais de modo a facilitar a elaboração de MDE para regiões fora do território americano.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, E. P. Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento. 2006. 88p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

Demirkesen, A. C. Quantifying geological structures of the Nigde province in central Anatolia, Turkey using SRTM DEM data. **Environmental Geology**, (no prelo), 2008.

Kääb, A. Monitoring high-mountaing terrain deformation from repeated air- and spaceborne optical data: examples using digital aerial imagery and ASTER data. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 1-2, p. 39–52, 2002.

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.

Grohmann, C. H.. Resampling SRTM 03”-data with kriging, **Grass/Open Source GIS and Remote Sensing information**, v. 4, p. 20–25, 2006.

Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

Iwashita, F.; Monteiro, R. C.; Landim, P. M. B. An alternative method for calculating variogram surfaces using polar coordinates. **Computers & Geosciences**, v. 31, n. 6, p. 801-803, 2005.

Landim, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da Unesp, 1998. 225 p.

Masoud, A.; Koike, K. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt. **Journal of African Earth Sciences**, v. 45, n. 4-5, p. 467–477, 2006

Nelson, A.; Oberthür, T.; Cook, S. Multi-scale correlations between topography and vegetation in a hillside catchment of Honduras. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 2, p. 145–174, 2007.

Neter, J.; Kutner, M.; Nachtsheim, C.; Wasserman, W. **Applied Linear Statistical Models**. Chicago: Richard D. Irwin Inc, 1996. 659 p.

Rossetti, D. F.; Valeriano, M. M.. Evolution of the lowest amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, v. 70, n. 2, p. 253-265, 2007.

Sommer, S.; Hill, J.; Mégier, J. The potential of remote sensing for monitoring rural land use changes and their effects on soil conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 67, n. 2-3, p. 197–209, 1998.

Valeriano, M.M.; Kuplich, T.M.; Storino, M.; Amaral, B.D.; Mendes Jr.; J.N., Lima, D.J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 8, p. 1169-1181, 2006.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2004.72 p. (INPE-10550-RPQ/756).

Yun, S.; Ji, J.; Zebker, H.; Segall, P. On merging high- and low-Resolution DEMs from TOPSAR and SRTM using a prediction-error filter. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 7, p. 1682–1690, 2005.