

Redução do efeito dossel no MDE-SRTM utilizando técnicas de processamento digital de imagens

Marcelo Pedroso Curtarelli ¹
Édipo Henrique Cremon ¹
Camilo Daleles Rennó ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mpedroso, cremon}@dsr.inpe.br ;camilo@dpi.inpe.br

Abstract. The Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model (DEM-SRTM) has great applicability in diverse areas of study such as hydrology, forestry, geomorphology and cartography. Despite the wide applicability of DEM-SRTM, many authors have warned for the sensitivity of the model relative to vegetation (upper canopy). This paper proposes a methodology for reducing the effect of upper canopy over DEM-SRTM using optical sensors and digital images processing. It was obtained reflectance values of bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 of ETM+/LANDSAT 7, processed with radiometric calibration and atmospheric corrections, vegetation indices (RVI and NDVI), and height difference between the DEM-SRTM and a DEM generated from contour lines digitized from a 1:50,000 topographic map from Topogrid interpolator. Variables more correlated were analyzed through multiple regressions and it was possible to fit a model to estimate height increase given by influence of vegetation on the DEM-SRTM. The model was applied in vegetation areas, which were mapped by classification unsupervised (Isoseg) and then subtracted from DEM-SRTM. The results show a significant improvement of the DEM-SRTM with respect to the extraction land attributes.

Palavras-chave: remote sensing, optical images, digital elevation model, artefacts, vegetation, sensoriamento remoto, imagens ópticas, modelo digital de elevação, artefatos, vegetação.

1. Introdução

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi um projeto de cooperação internacional entre a Agência Espacial Americana (NASA), a Agência Nacional de Imageamento e Mapeamento (NIMA) e o Departamento de Defesas (DOD) dos Estados Unidos, com a Agência Espacial Alemã (DLR) e Italiana (ASI) com o objetivo de adquirir dados de elevação, através da técnica de interferometria de radar de abertura sintética, em uma escala quase global para gerar a mais completa base de dados topográficos digital de alta resolução da Terra (van Zyl, 2001). Os dados SRTM disponíveis gratuitamente foram processados na forma de modelo digital de elevação (MDE) na banda C pela NASA/JPL e se referem ao sobrevôo que ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (van Zyl, 2001; Rabus et al., 2003). Outras informações a respeito da missão e dos dados SRTM podem ser encontradas em van Zyl (2001), Rabus et al. (2003), Rodriguez et al. (2006) e Farr et al. (2007).

Segundo Farr et al. (2007), o MDE-SRTM tem sido utilizado em diversas áreas do conhecimento que necessitam de dados topográficos, em aplicações relatadas na bibliografia. Alguns exemplos de aplicação do MDE-SRTM em hidrologia, geomorfologia, florestas e cartografia são descritos em Hofton et al. (2006), Simard et al. (2006), Sanders (2007), Rennó (2008), Oliveira e Paradella (2008), Zandbergen (2008) e Li e Wong (2010).

Apesar da grande aplicabilidade do MDE-SRTM, diversos autores têm alertado para a sensibilidade que este modelo apresenta com relação à vegetação e outros objetos presentes sobre a superfície terrestre, como antenas e edificações, que atrapalham a percepção da superfície terrestre e a extração de variáveis morfométricas, tais como declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e vertical, divisores de água, entre outras (Valeriano, 2004).

Rennó (2009) apresenta uma metodologia simples para a redução do efeito dossel sobre o MDE-SRTM utilizando imagens TM/LANDSAT 5, próximo ao município de Sinop no estado do Mato Grosso, uma área cujo corte raso da vegetação é expressivo no MDE-SRTM.

Utilizando técnicas de processamento digital de imagens foi realizada uma classificação da imagem TM/LANDSAT 5 das áreas onde ocorria a vegetação arbórea densa, nesses locais foram descontados um valor constante no MDE-SRTM, em que se considerava a altura do dossel homogêneo. Os resultados mostraram significativa melhoria na qualidade dos atributos de terreno, como declividade e rede de drenagem, extraídos do MDE-SRTM após a correção.

Diversos trabalhos vêm sendo usados para relacionar dados físicos de sensoriamento remoto orbital, tanto ativo como passivo, com parâmetros biofísicos de vegetação (p.e. Freitas et al., 2005; Glenn et al., 2008; Gama et al., 2009). Com isso, uma questão torna-se pertinente: há a possibilidade de estimar o acréscimo de altura causado pela vegetação no MDE-SRTM a partir de dados ópticos e com isso chegar a um modelo mais refinado?

Diante do exposto o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar uma metodologia para a redução do efeito dossel no MDE-SRTM, utilizando imagens ópticas e técnicas de processamento digital de imagens, considerando a heterogeneidade da altura do dossel.

2. Metodologia

A área escolhida para o estudo localiza-se entre as coordenadas 20°30'S, 50°30'W e 20°45'S, 50°15'W, na região noroeste do estado de São Paulo, correspondente a carta topográfica SF-22-D-IV-1 (General Salgado) do IBGE na escala 1:50.000 (Figura 1). Esta área foi escolhida, pois através de uma investigação preliminar foi constatada a presença de interferência da vegetação, sobretudo da mata ciliar e reservas legais no MDE-SRTM e também por possuir uma dinâmica diversificada de uso e ocupação do solo, diferentemente da área estuda por Rennó (2009) em que as classes predominantes eram vegetação densa e desmatamento, sendo muito homogêneas, enquanto na área aqui escolhida a heterogeneidade é o principal fator a ser explorado.

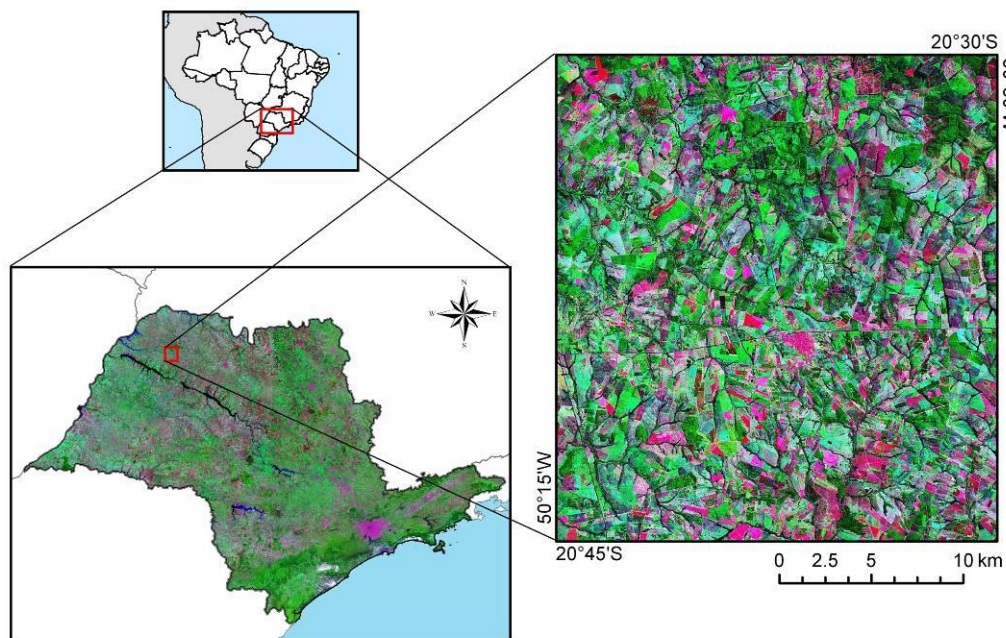


Figura 1. Localização da área de estudo, imagem ETM+/LANDSAT composição colorida R7G4B2 do GeoCover 2000.

Os dados utilizados no trabalho foram o MDE-SRTM, versão 2, obtidos através do sitio eletrônico do *Earth Resources Observation and Science - United State Geological Survey* (EROS/USGS), imagem ETM+/LANDSAT 7 órbita/ponto 222/74 do dia 03/04/2000, obtida através do sitio eletrônico do *Global Visualization Viewer - United State Geological Survey* (Glovis/USGS), cuja escolha se deu por ser próxima da data de coleta dos dados SRTM e por

apresentar ausência de nuvens, e a carta topográfica do IBGE em escala 1:50.000, folha SF-22-D-IV-1, em formato vetorial *shapefile*.

O MDE-SRTM possui projeção geográfica, com datum horizontal e vertical WGS-84 e resolução espacial de 3 arcos de segundos (aproximadamente 90 m). As imagens ETM+/LANDSAT 7 obtidas possuíam projeção UTM, datum horizontal WGS-84 e 30 m de resolução espacial. Já a folha SF-22-D-IV-1 possui a mesma projeção, com o datum horizontal Córrego Alegre e suas curvas de nível, a cada 20 metros, correspondem ao datum vertical Imbituba. Todos os dados adquiridos já estavam georreferenciados.

Para o processamento dos dados foram utilizados os aplicativos Spring 4.3.3, ENVI 4.5, Excel 2007 e ArcGIS 9.2. A Figura 2 mostra o fluxograma da metodologia aplicada no trabalho.

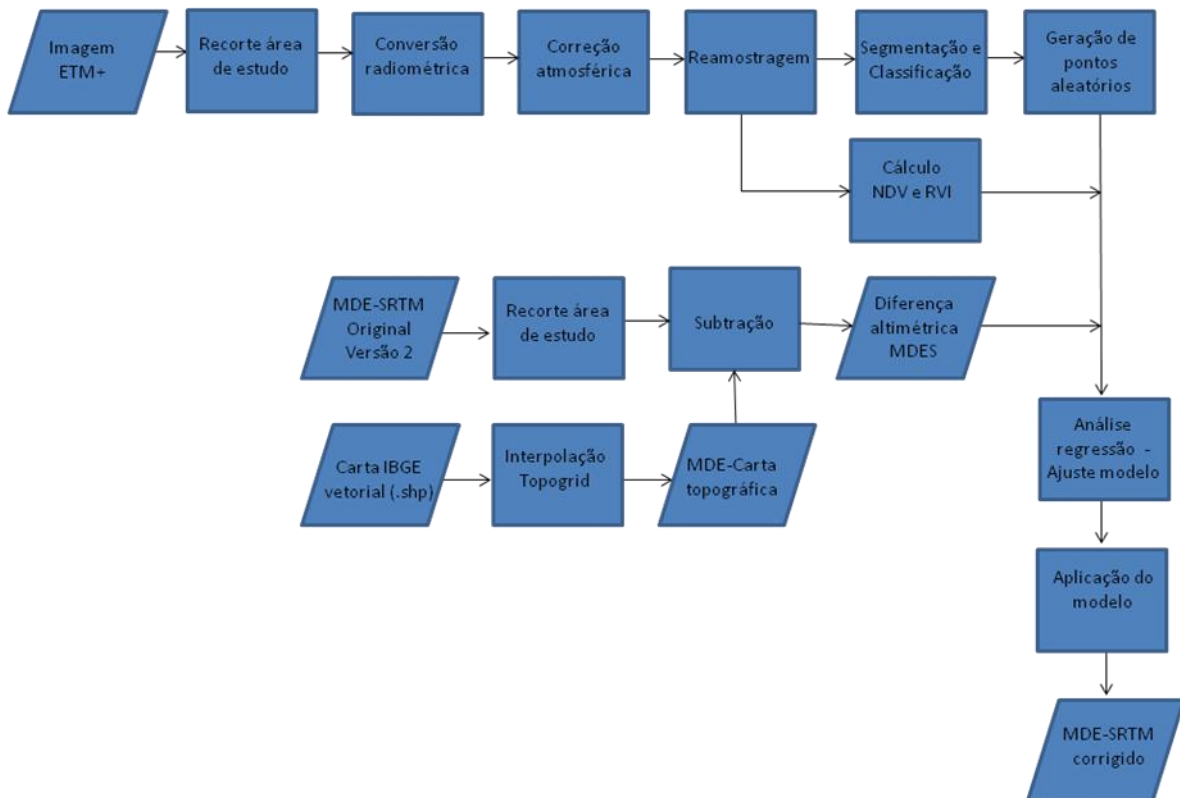


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada no trabalho.

Primeiramente foi feito um recorte das bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7 da imagem ETM+/LANDSAT 7 do mesmo tamanho da área abrangida pela carta topográfica do IBGE. Em seguida o recorte das bandas da imagem ETM+/LANDSAT 7 foram submetidas a conversão radiométrica, com os dados convertidos de número digital (ND) para fator de reflectância bidirecional (FRB), e correção atmosférica utilizando o método 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*), proposto por Vermote et al. (1997). Todas as bandas foram reprojadas para a mesma projeção e datum horizontal do MDE-SRTM, de modo a preservá-lo o máximo possível, e em seguida foram reamostradas para 3 arcos de segundos usando o método *pixel aggregate* de interpolação que realiza uma média ponderada incluindo a nível de sub-pixel na matriz de interpolação.

Com as bandas recortadas, reamostradas e co-registradas ao MDE-SRTM, foram geradas as imagens RVI e NDVI, como proposto por Pearson e Miller (1972) e Rouse et al. (1974), respectivamente. Além disso, foi realizada a classificação pelo método não supervisionado através do algoritmo Iseg, que agrupa regiões a partir de uma medida de similaridade (distância de Mahalanobis), no intuito de mapear as áreas com vegetação. Para tanto foi feita a segmentação da imagem, utilizando todas as bandas, pelo método de crescimento de regiões

com parâmetro de similaridade igual a 5 e área (*pixel*) 10. Para a etapa de classificação foi escolhido um limiar de aceitação de 75%. Como o objetivo da classificação foi mapear as áreas com vegetação as classes geradas foram mapeadas em apenas duas classes, vegetação e não vegetação.

Utilizando as curvas de nível e pontos cotados em formato *shapefile* da carta topográfica do IBGE, também convertidos para a mesma projeção e datum horizontal do MDE-SRTM, foi gerado um MDE (MDE-Carta topográfica), com 3 arcos de segundo de resolução, através do interpolador Topogrid disponível no aplicativo ArcGIS 9.2. O MDE-Carta topográfica, devidamente co-registrado ao MDE-SRTM, foi subtraído do mesmo gerando um modelo de diferença altimétrica entre os MDEs. Considerando que o MDE-Carta topográfica representa realmente a superfície do terreno, a diferença de altura entre o MDE-SRTM e do MDE-Carta topográfica, nas áreas classificadas como vegetação, representa o acréscimo em altura dada pela influência da vegetação no MDE-SRTM (Kenya et al., 2009; Brown Jr. et al., 2010).

Para se estimar o valor necessário para corrigir o MDE-SRTM, foi gerado um modelo através da regressão linear múltipla entre a diferença altimétrica dos MDEs e os valores de FRB de cada banda assim como os índices de vegetação NDVI e RVI. Para tanto, foram sorteados aleatoriamente 300 pontos sobre as áreas classificadas como vegetação, considerando que as áreas referentes à classe não-vegetação não necessitariam correção. Após o ajuste do melhor modelo ele foi aplicado somente nas áreas classificadas como vegetação e o resultado subtraído do MDE-SRTM original.

A avaliação qualitativa da metodologia sugerida foi realizada através de comparações entre as declividades calculadas a partir do MDE-SRTM original e corrigido e do MDE-Carta topográfica, e também através de perfis de altimetria do terreno extraídos a partir do MDE-SRTM original e corrigido comparados com os perfis extraídos a partir do MDE-Carta topográfica.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta uma composição R3G4B2 da área de estudo (a) e o resultado da classificação pelo algoritmo Ioseg (b), no qual é possível verificar que os principais conjuntos de vegetação foram classificados.

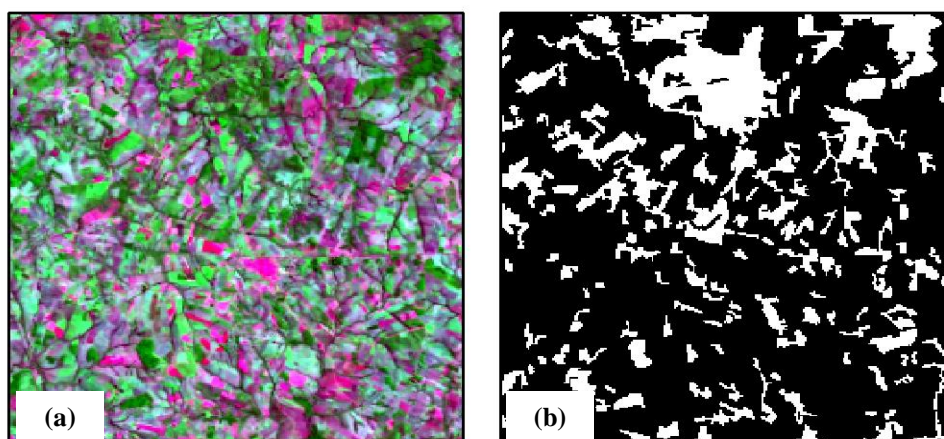


Figura 3. a) imagem +ETM/LANDSAT 7 composição colorida R3G4B2; b) Resultado da classificação pelo método Ioseg (vegetação em branco, valor 1, e áreas sem vegetação em preto, valor 0).

A Figura 4 apresenta o MDE-SRTM (a), o MDE-Carta topográfica (b) e a diferença do primeiro pelo segundo (c), para se ter a diferença altimétrica entre os MDEs. Visualmente os MDE-SRTM e MDE-Carta topográfica são bem semelhantes. Para a diferença altimétrica entre os modelos, foi notada a presença de valores negativos em áreas de maior declividade e

fundos de vales de algumas drenagens, isto pode estar associado a diferença de datum vertical do MDE-SRTM e a carta topográfica do IBGE ou a distorções no MDE-Carta topográfica devido ao método de interpolação utilizado.

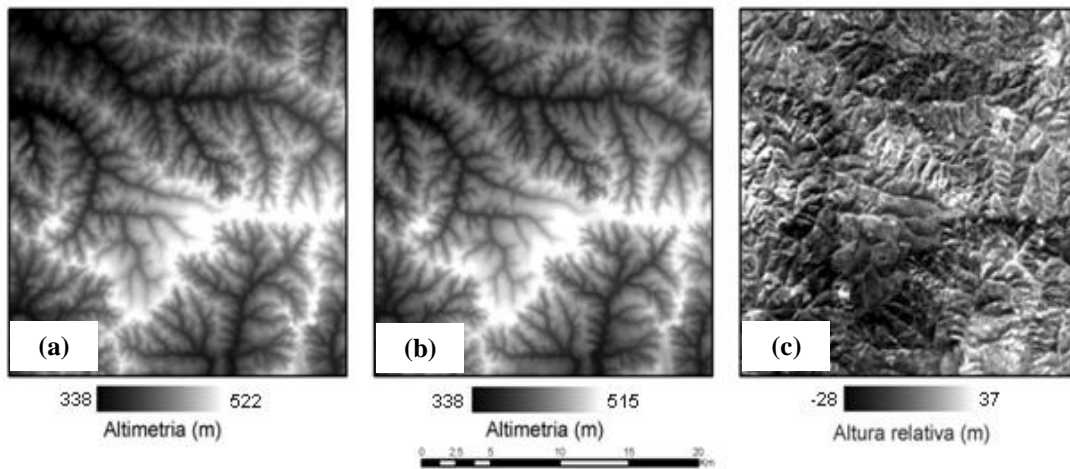


Figura 4. a) MDE-SRTM original; b) MDE gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados do IBGE pelo método Topogrid; c) Diferença altimétrica entre os MDEs.

Através do conjunto de pontos amostrados, selecionou-se o modelo de regressão linear múltiplo que melhor explicou a variação dos valores de diferença altimétrica entre os MDEs, que representa o acréscimo em altura dada pela influência da vegetação (*Hestimada*). Este modelo foi obtido após um ajuste sub-ótimo, onde primeiramente foi feito um modelo utilizando todas as variáveis preditoras (modelo completo) e em seguida um modelo simplificado, eliminando as variáveis cujos coeficientes não eram significativos a 5%. As variáveis que foram mais correlacionadas com a diferença altimétrica entre os MDEs foram RVI ($r = 0,54$), FRB_{B1} ($r = -0,49$) e FRB_{B2} ($r = -0,48$), sendo também as que apresentaram coeficientes mais significativos, juntamente com a FRB_{B5} . O modelo final obtido após a eliminação sucessiva de variáveis não significativas, foi:

$$Hestimada = -14,26 - 27,56FRB_{B1} - 217,14FRB_{B2} + 149,45FRB_{B5} + 0,32RVI \quad \text{Eq. (1)}$$

Este modelo explicou 44% da variação total da variável dependente (diferença altimétrica entre os MDEs). A figura 5 apresenta o gráfico de dispersão entre os valores estimados e observados

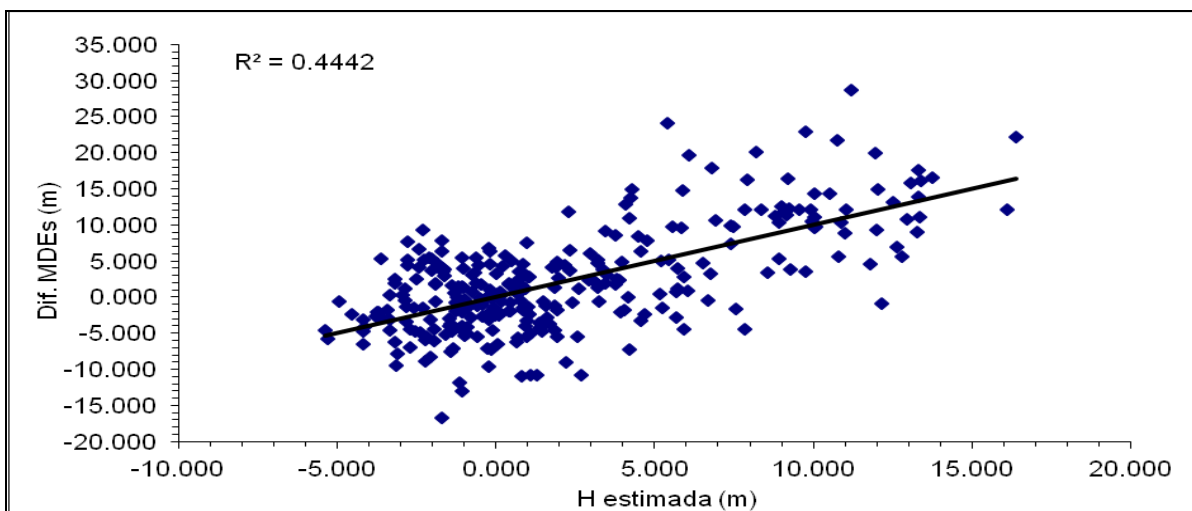


Figura 5. Gráfico de dispersão diferença dos MDEs x altura estimada pelo modelo ajustado.

Após a correção o MDE-SRTM os valores de altitude máxima reduziram de 522 m para 520 m se aproximando dos valores máximos do MDE-Carta topográfica (Figura 6). O valor médio da altitude para toda a área passou de 429,64 m para 429,22 m, se aproximando do valor médio obtido pelo MDE-Carta topográfica de 429,37 m.

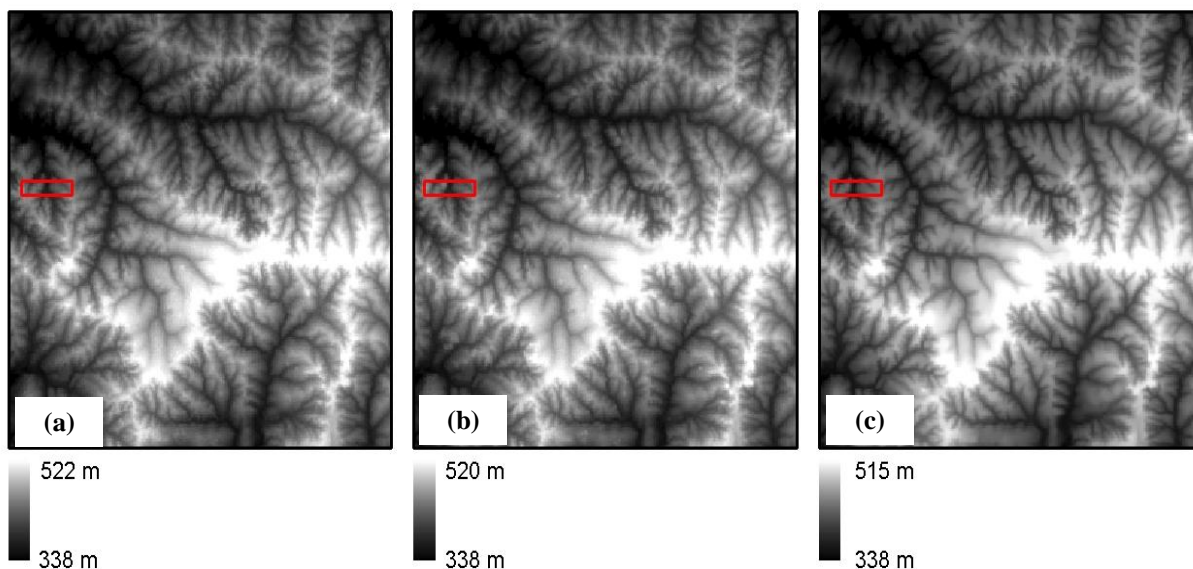


Figura 6. a) MDE-SRTM original; b) MDE-SRTM corrigido; c) MDE-Carta topográfica. Os retângulos em vermelhos nas figuras indicam a área destacada no perfil da figura 7.

Um perfil sobre os MDEs (Figura 7) mostra que o MDE-SRTM corrigido obteve valores altimétricos inferiores ao MDE-SRTM original se aproximando ao perfil do MDE-Carta topográfica, considerado como verdade. Nos locais onde o MDE-SRTM corrigido está igual ao MDE-SRTM original (fundo do vale) é devido à ausência de vegetação e consequentemente locais que não foram corrigidos.

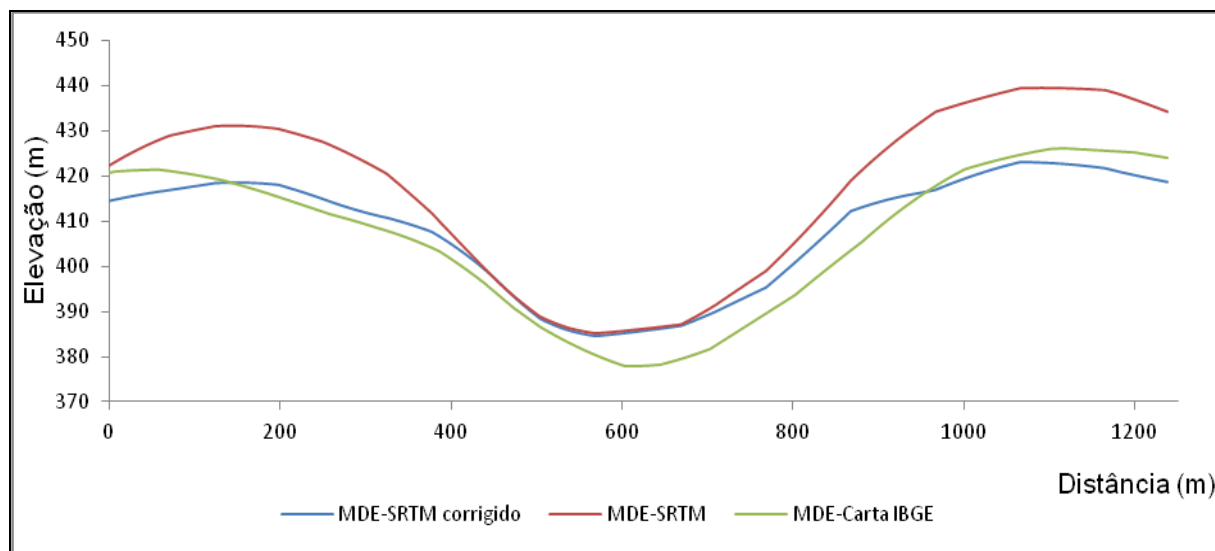


Figura 7. Perfil topográfico sobre a área do estudo ressaltando a diferença entre os MDEs (retângulo vermelho na figura 6).

Com a correção do MDE-SRTM, a extração de atributos do terreno, como a declividade, é alterada, como mostrado na Figura 8, onde após a correção houve uma redução dos valores de declividade máxima, de $13,45^\circ$ para $11,74^\circ$, se aproximando dos valores máximo de declividade obtido a partir do MDE-Carta topográfica.

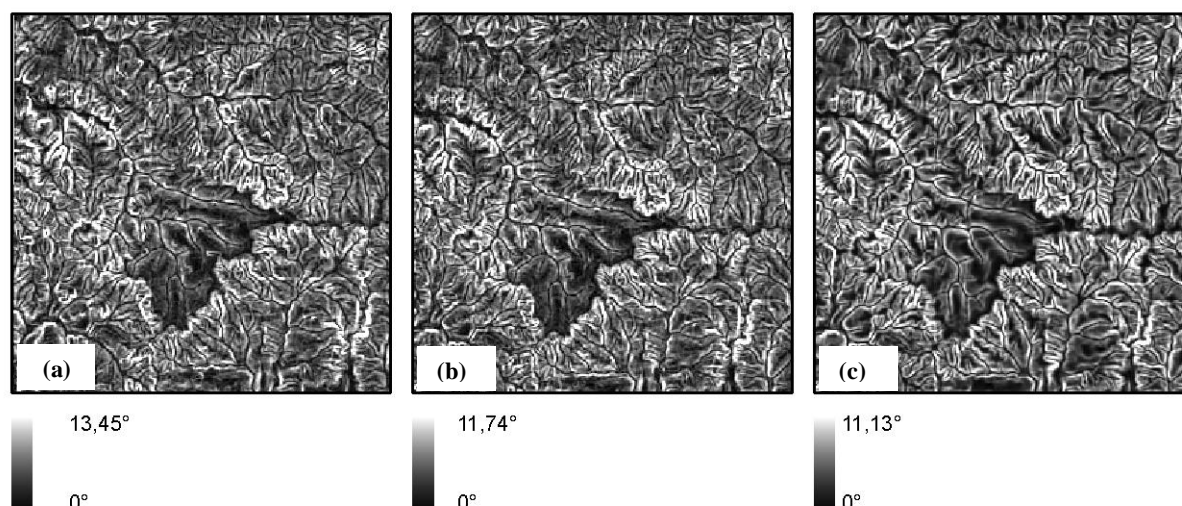


Figura 8. a) Declividade extraída do MDE-SRTM original b) Declividade extraída do MDE-SRTM corrigido c) Declividade extraída do MDE-Carta topográfica.

4. Conclusões

Os resultados obtidos indicaram uma sensível melhoria no MDE-SRTM com relação à extração de atributos do terreno, p. e. declividade e perfis do terreno. O efeito do dossel arbóreo no MDE-SRTM não foi totalmente eliminado, porém sua presença não inviabilizou a utilização do MDE-SRTM corrigido.

A metodologia proposta apresenta avanços em relação à apresentada por Rennó (2009), pois o dossel não é considerado homogêneo e o valor a ser subtraído do MDE-SRTM original varia de acordo com o modelo de regressão ajustado.

Para próximos trabalhos recomenda-se a utilização de outros classificadores, baseados em lógica *fuzzy*, para melhorar a acurácia do mapeamento da vegetação e atribuir pertinência à presença dessa classe. Também se recomenda testes com a utilização de outras variáveis para o ajuste de modelo, como índices que reflitam mais as características da estrutura do dossel.

Agradecimentos

A Otávio Cristiano Montanher (GEMA/UEM) pela ajuda na correção atmosférica dos dados. Ao Grupo Transdisciplinar de Pesquisas em Governança da Água e do Território (GTHIDRO/UFSC), coordenado pelo professor Daniel José da Silva, por disponibilizar a licença do aplicativo ArcGIS 9.2.

Referências Bibliográficas

Brown Jr, C. G.; Sarabandi, K.; Pierce, L. E. Model-Based Estimation of Forest Canopy Height in Red and Austrian Pine Stands Using Shuttle Radar Topography Mission and Ancillary Data: A Proof-of-Concept Study. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, n. 3, p. 1105-1118, 2010.

Farr, T.; Rosen, P. A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umland, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D.; Alsdorf, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Review of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 21-35, 2007.

Freitas, S. R.; Mello, M. C. S.; Cruz, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 218, n. 1-3, p. 353-362, 2005.

Gama, F. F.; Santos, J. R.; Mura, J. C.; Araújo, R. H. Modelagem de parâmetros biofísicos de povoamentos de Eucalyptus através da interferometria e radiometria SAR (bandas X e P). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7265-7273. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15883-PRE/10493). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.19>>. Acesso em: 13 jun. 2010.

Glenn, E. P.; Huete, A. R.; Nagler, P. L.; Nelson, S. G. Relationship Between Remotely-sensed Vegetation Indices, Canopy Attributes and Plant Physiological Processes: What Vegetation Indices Can and Cannot Tell Us About the Landscape. **Sensors**, v. 8, n. 4, p. 2136-2160, 2008.

Hofton, M.; Dubayah, R.; Blair, J. B.; Rabine, D. Validation of SRTM elevations over vegetated and non-vegetated terrain using medium footprint LIDAR. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 3, p. 279-285, 2006.

Kenyi, L. W.; Dubayah, R.; Hofton, M.; Schardt, M. Comparative analysis of SRTM–NED vegetation canopy height to LIDAR-derived vegetation canopy metrics. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 11, p.2797-2811, 2009.

Li, J.; Wong, D. W. S. Effects of DEM sources on hydrologic applications. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 34, n. 3, p. 251-261, 2010.

Oliveira, C. G.; Paradella, W. R. An assessment of the altimetric information derived from spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and optical (ASTER) data for cartographic application in the Amazon region. **Sensors**, v. 8, n. 6, p. 3819-3829, 2008.

Pearson, R. L.; Miller, L. D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. In: **Proceedings** of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, vol. 2, p. 1355-1379, Ann Arbor, MI. 1972.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topography Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

Rennó, C. D. Redução dos efeitos do desmatamento sobre modelo digital de elevação do SRTM usando imagem TM/LANDSAT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7095-7102. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.22.13>>. Acesso em: 17 mai. 2010.

Rodriguez, E.; Morris, C. S.; Belz, J. E. A Global Assessment of the SRTM Performance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 3, p. 249-260, 2006.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W.; Harlan, C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt, MD: NASA/GSFC (Type III, Final Report).1974. p. 371.

Sanders, B. F. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. **Advances in Water Resources**, v.30, n. 8, p. 1831-1843, 2007.

Simard, M.; Zhang, K. Q.; Rivera-Monroy, V. H.; Ross, M. S.; Ruiz, P. L.; Castaneda-Moya, E.; Twilley, R. R.; Rodriguez, E. Mapping height and biomass of mangrove forests in Everglades National Park with SRTM elevation data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 3, p. 299-311, 2006.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57>>. Acesso em: 17 ago. 2010.

van Zyl, J. J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, v. 48, n. 5, pp. 559-565, 2001.

Vermote, E. F.; Tanré, D.; Deuzé, J. L.; Herman, M.; Morcrette. J. J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

Zandbergen, P. Applications of shuttle radar topography mission elevation data. **Geography Compass**, v. 2, n.5, p. 1404-1431, 2008.