

# Redução dos efeitos do desmatamento sobre modelo digital de elevação do SRTM usando imagem TM/LANDSAT

Camilo Daleles Rennó<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
camilo@dpi.inpe.br

**Abstract.** Digital elevation models (DEM) are essential in many applications, hydrology and geomorphology in particular. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data can be considered the major advance in terms of providing accurate elevation data on many parts of world. These data were obtained using a radar C band and then it is strongly influenced by vegetation. Usually, the deforestation can be identified as artifacts in SRTM DEM, reducing the interpretability of the attributes extracted from it. This paper proposes to reduce the deforestation effects over SRTM DEM, subtracting a certain value from the forested areas. A k-means classification was applied on TM/LANDSAT in order to map the forested areas. The registration between the classified image and DEM was done using REGISTRA program. Different values were tested in DEM\_CORR program. The better result was obtained subtracting 11 meters from forested area and indicated a significant quality increasing, specially slope and drainage network computed from the corrected DEM.

**Palavras-chave:** remote sensing, digital elevation model, DEM, sensoriamento remoto, MDE.

## 1. Introdução

Modelos Digitais de Elevação (MDE) são muito importantes em estudos hidrológicos e geomorfológicos. O MDE pode ser utilizado para geração de uma grande quantidade de atributos do terreno (Valeriano et al., 2006), tais como declividade, aspecto, curvaturas e distâncias verticais e horizontais.

Os modelos hidrológicos distribuídos têm o MDE como dado fundamental na definição da direção de fluxo e muitas vezes utilizam a declividade como importante variável relacionada com a velocidade de escoamento.

Muitas regiões, como a amazônica, dispõem de raros levantamentos topográficos precisos. Em alguns casos, apenas cartas topográficas com escalas grosseiras estão disponíveis, inviabilizando estudos mais detalhados. Dados topográficos precisos são necessários para o entendimento dos processos da superfície terrestre em escalas finas.

A partir de fevereiro de 2000, os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) tornaram-se disponíveis para cerca de 80% da superfície terrestre (van Zyl, 2001). O MDE do SRTM, com resolução horizontal de 3" (cerca de 90m próximo ao equador) e resolução vertical de um metro, revela-se como o melhor e mais preciso dado topográfico disponível para muitas regiões. Informações mais detalhes a respeito da missão podem ser encontradas em Rodriguez et al. (2006). O MDE do SRTM tem se mostrado melhor que muitos outros dados topográficos globais (por exemplo, GTOPO30 e GLOBE) e suas precisões geográfica e altimétrica têm sido constantemente avaliadas por muitos estudos (Eineder e Holzner, 2000; Smith e Sandwell, 2003; Carabajal e Harding, 2005; Bhang et al., 2007).

Em aplicações hidrológicas, os erros encontrados no MDE do SRTM parecem não causar sérios problemas em estudos de mesoescala (Ludwig e Schneider, 2006). No entanto, Hancock et al. (2006), examinando a acurácia de descritores típicos geomorfológicos e hidrológicos tais como rede de drenagem, bacias hidrográficas, declividade e aspecto em terrenos movimentados, observaram que esses dados deveriam ser utilizados com cautela em modelagem hidrológica. Também Bhang e Schwartz (2008) constataram que o uso do MDE do SRTM apresenta-se bastante limitado para estudos hidrológicos em regiões planas.

O MDE do SRTM mais amplamente utilizado foi obtido por um radar de abertura sintética operando na banda C. A onda eletromagnética nesta banda interage de forma

complexa com a vegetação e com isso, o MDE do SRTM pode não representar corretamente a superfície do terreno. Áreas onde o terreno é coberto por uma densa e alta vegetação, o MDE pode, de certo modo, representar o topo do dossel fazendo com que certas feições do relevo sejam suavizadas e outras destacadas (Kellndorfer et al., 2004).

Rennó et al. (2008) desenvolveram um novo descritor de terreno, chamado HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), que utiliza o MDE do SRTM e a rede de drenagem extraída automaticamente deste mesmo dado. Estes autores observaram um grande número de *sinks* provavelmente causados pelo ruído *speckle* característico do radar ou pelos efeitos da vegetação (Curkendall et al., 2003) e desenvolveram métodos de eliminação desses erros produzindo um MDE hidrológicamente coerente. Sem a devida correção, algoritmos de extração automática da rede de drenagem podem gerar redes descontínuas que inviabilizam a aplicação de modelos hidrológicos distribuídos.

Como o MDE do SRTM é sensível à vegetação, feições artificiais podem aparecer em regiões onde são observadas mudanças abruptas, como as áreas de contato floresta/cerrado, floresta/desmatamento ou ainda pastagem/mata ciliar. Este tipo de problema, muitas vezes, inviabiliza o uso desse tipo de dado, principalmente quando este uso está relacionado a questões hidrológicas.

O presente trabalho propõe um método simples para redução dos efeitos do desmatamento em MDE do SRTM a partir de imagens TM/LANDSAT. Esta redução visa melhorar o desempenho de algoritmos para extração de atributos do terreno de modo que representem mais coerentemente a realidade.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se próximo ao município de Sinop-MT. Esta área foi escolhida por ser considerada uma fronteira de ocupação, constituída por um mosaico de floresta e áreas desmatadas com diferentes idades, apresentando assim uma dinâmica de ocupação complexa.

Como os dados do SRTM foram obtidos em fevereiro de 2000, idealmente quanto mais próxima a imagem TM/LANDSAT for desta data, melhor seria a representação real da cobertura por ocasião do levantamento. No entanto, por coincidir com a época chuvosa na região, não foi possível adquirir uma imagem sem cobertura de nuvens na data do SRTM. Assim, optou-se por duas imagens mais próximas possíveis da data, uma adquirida antes da data ideal (18/08/1999) e outra após esta data (30/04/2000). As duas imagens e o MDE do SRTM são apresentados na Figura 1. De modo geral, os desmatamentos podem ser identificados como depressões (áreas mais escuras) no MDE. Quando observadas em detalhes (Figura 2), estas feições tornam-se bastante evidentes, mostrando a grande influência do desmatamento neste MDE. É importante notar também que, devido à dinâmica do desmatamento na região, que a imagem anterior à data do SRTM, possui menos áreas desmatadas do que as visivelmente identificadas no MDE. Da mesma forma, a imagem posterior à data do SRTM, possui mais áreas desmatadas do que as detectadas no MDE.

Inicialmente, as imagens TM/LANDSAT originais (não georreferenciadas, não corrigidas radiometricamente e com resolução espacial de 30m) foram classificadas utilizando o classificador k-médias no programa ENVI. Este método utiliza uma classificação não supervisionada que particiona o espaço de atributos em um número pré-definido de classes. Através de um método iterativo, os pixels da imagem são reclassificados de acordo com a distância euclidiana ao centróide de cada classe até que a porcentagem de mudança de classe seja inferior a um determinado valor. Neste trabalho, foram definidas inicialmente 20 classes e uma porcentagem de mudança máxima de 1%. Após a classificação, as 20 classes foram reagrupadas em apenas duas: Floresta e Desmatamento.

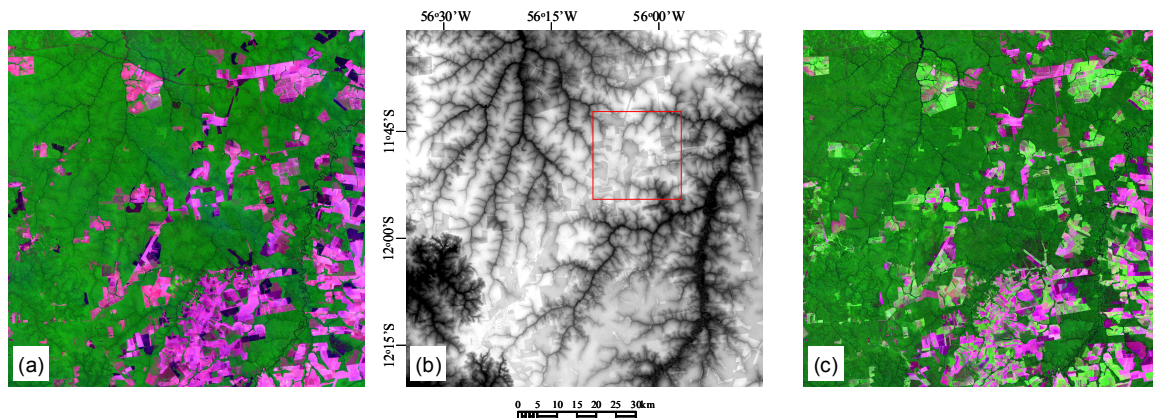


Figura 1. Definição da área de estudo: a) TM/LANDSAT 543/RGB de 1999; b) MDE do SRTM; e c) TM/LANDSAT 543/RGB de 2000. Para melhor visualização dos detalhes, as demais figuras serão correspondentes ao retângulo em vermelho indicado no MDE.

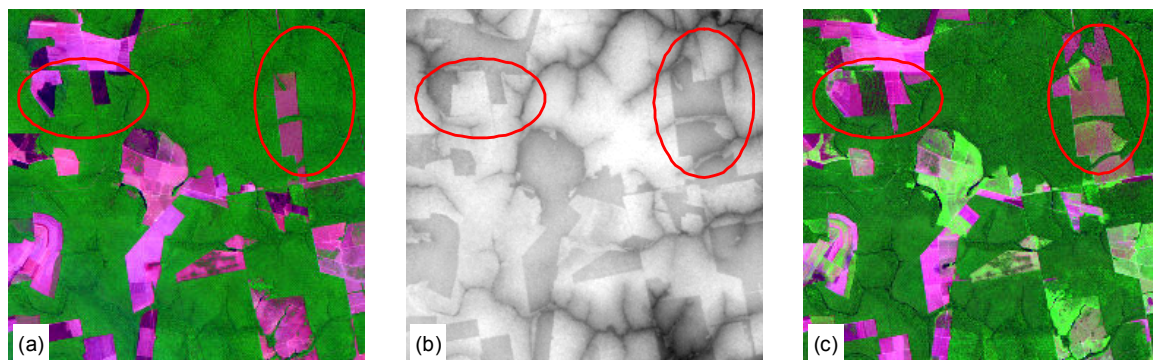


Figura 2. Detalhes da área de estudo: a) TM/LANDSAT 543/RGB de 1999; b) MDE do SRTM; e c) TM/LANDSAT 543/RGB de 2000. As áreas destacadas indicam a correspondência apenas parcial entre o MDE do SRTM e as imagens TM/LANDSAT.

Por se tratar de uma classificação pontual (pixel a pixel), o resultado da classificação k-médias apresenta inúmeras áreas pequenas que aumentam a complexidade da imagem classificada e muitas vezes não correspondem a verdadeiros desmatamentos ou remanescentes florestais. Isso é causado pela heterogeneidade espectral presente nas imagens ópticas devido a variações locais no relevo e na estrutura e biomassa da vegetação, o que resulta em áreas mais e menos sombreadas. Dessa forma, as imagens classificadas foram processadas de modo a eliminar todas as áreas com menos de 10 pixels, sendo os pixels reclassificados para a classe de entorno.

Para o georreferenciamento da imagem classificada, utilizou-se o programa REGISTRA (Rennó, 2007) que realiza o registro de imagens utilizando a informação vetorial que representa as bordas das regiões da imagem classificada. O registro tradicional entre uma imagem óptica e um MDE torna-se inviável pela dificuldade em identificar-se pontos de controle comuns entre estes dois dados. Assim, foram utilizadas feições dos desmatamentos para proceder ao registro das imagens com o MDE. Após o registro, a imagem classificada resultante passou a ter a mesma resolução espacial e projeção do MDE.

Devido à dinâmica do desmatamento, nenhuma das duas imagens classificadas representa com precisão as áreas desmatadas detectáveis no MDE. Dessa forma, edições manuais foram feitas para melhorar a correspondência entre a imagem e o MDE. Optou-se por escolher, entre as duas imagens classificadas resultantes, aquela que exigiria menor edição. A imagem classificada escolhida foi então editada manualmente utilizando as ferramentas do programa

ENVI. Para tanto, toda a área de estudo foi analisada e identifica áreas de omissão e inclusão de desmatamento tendo como base o MDE.

Finalmente, através do programa desenvolvido em ENVI/IDL para este trabalho, chamado DEM\_CORR (Figura 3), procedeu-se a correção do MDE, subtraindo-se uma constante de todos os pixels do MDE pertencentes à classe Floresta. Este procedimento é correspondente à retirada da floresta, fazendo com que a superfície do MDE se aproximasse da superfície real (supostamente encontrada em áreas desmatadas). O programa permite testar diferentes valores e verificar interativamente o resultado.

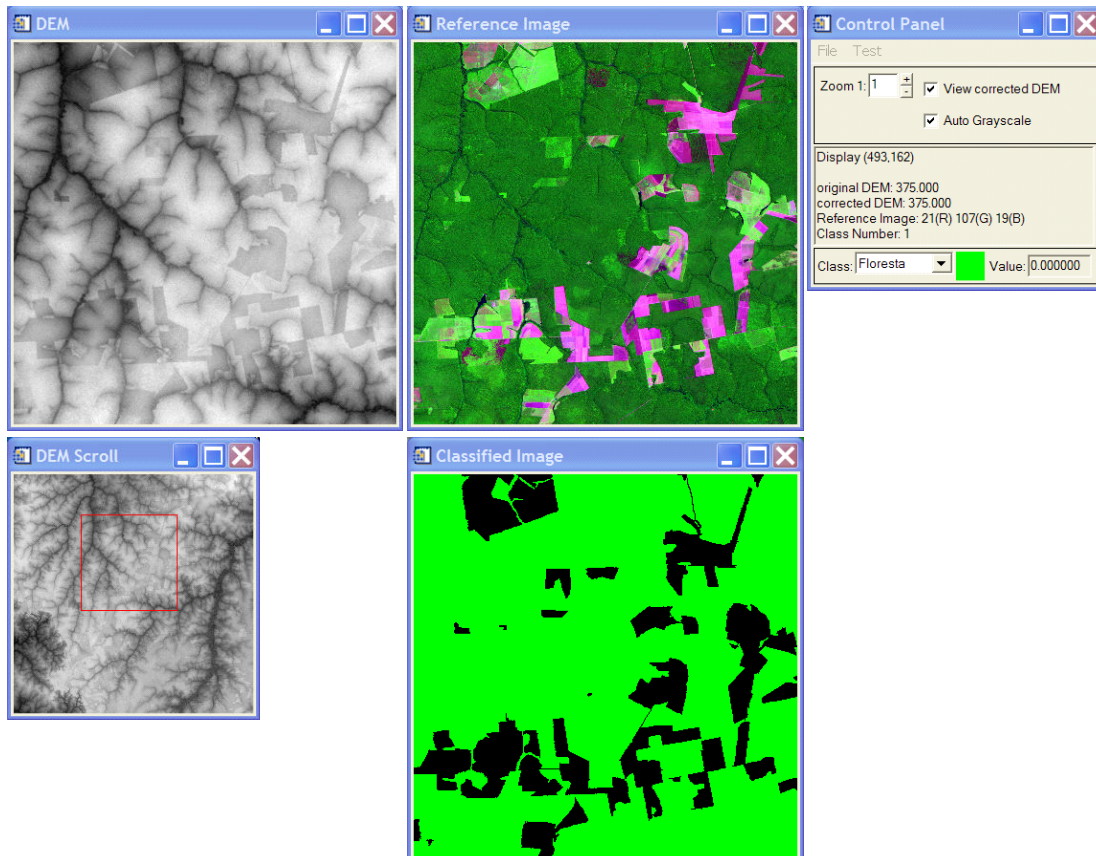


Figura 3. Interface do programa DEM\_CORR.

Por definição, a imagem classificada considera uma mudança abrupta entre as classes Floresta e Desmatamento. No MDE, a mudança entre estas classes acontece de maneira difusa. Assim, mesmo após a correção do MDE pela subtração de uma constante nas áreas florestadas, um efeito de borda permanece. Para minimizar este problema, todos os pixels de borda (contato Floresta e Desmatamento) foram reestimados pela média de uma janela 3x3 pixels (considerando apenas os pixels que não pertencem às bordas das classes).

A fim de avaliar o impacto da correção aplicada, ambos MDE, original e corrigido, foram processados pelo programa HAND a fim de obter a rede de drenagem e assim permitir uma avaliação qualitativa do MDE resultante. Também uma avaliação qualitativa da declividade obtida por ambos MDE foi realizada.

### 3. Resultados e Discussão

A classificação da imagem TM/LANDSAT de 1999 apresentou pior desempenho devido a maior confusão entre classes causada pela maior quantidade de fumaça (grande número de queimadas, comuns nessa época) o que dificultou a separação entre os diferentes padrões



espectrais das 2 classes de interesse. Dessa forma, a imagem TM/LANDSAT de 2000 foi a escolhida para representar os desmatamentos detectados no MDE do SRTM.

A Figura 4 apresenta, em detalhe, o MDE e as imagens classificadas antes e depois da edição. É possível observar algumas áreas pequenas que foram eliminadas no pós-processamento. Em seguida, esta imagem foi editada manualmente para eliminação de desmatamentos ocorridos posteriormente a obtenção do MDE ou inclusão de áreas não identificadas durante o processo de classificação.

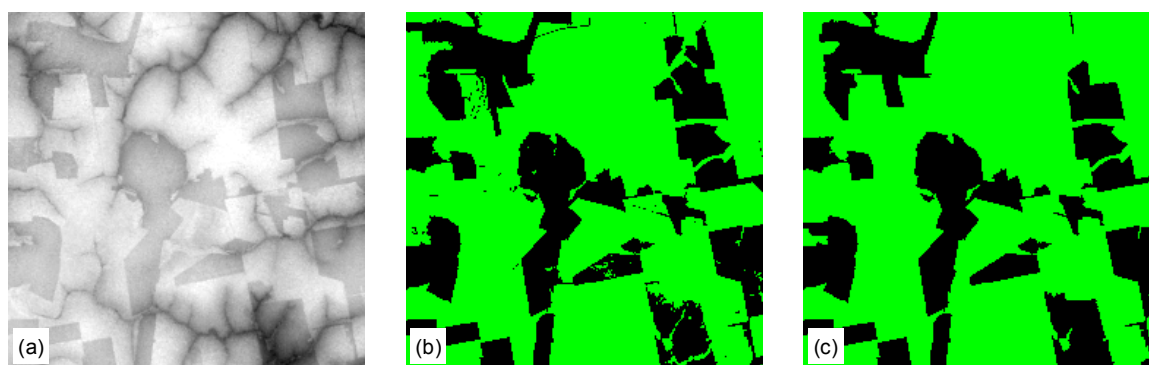


Figura 4. Resultado da classificação da imagem TM/LANDSAT de 2000: a) MDE do SRTM; b) Imagem classificada registrada ao MDE; e c) Imagem classificada final editada.

A imagem classificada editada foi então utilizada para a correção do MDE no programa DEM\_CORR. Através da avaliação visual do MDE resultante, verificou-se que os valores do MDE relativo à área de floresta deveriam ser subtraídos em 11 metros. É importante observar que este valor pode não corresponder à altura média do dossel da floresta. O MDE resultante após o reestimação dos pixels de borda é apresentado na Figura 5. É evidente a melhora visual do MDE com a eliminação das depressões causadas pelos desmatamentos. Como a vegetação, tanto dentro da floresta quanto em áreas desmatadas não é uniforme, esta correção não é perfeita. Idealmente, a correção exigiria a adoção de diferentes valores subtraídos de acordo com a altura e a densidade da vegetação. Como um único valor foi adotado para toda área de floresta, é possível notar, ainda que de forma bastante sutil, os contornos dos desmatamentos.

Apesar da eliminação dos efeitos dos desmatamentos não ser completa, fica evidente o ganho dessa correção quando são avaliados atributos extraídos desse novo MDE. A Figura 6 apresenta a declividade e a rede de drenagem obtida pelo programa HAND. Pode-se notar que a rede de drenagem gerada sobre o MDE original apresenta forte influência dos desmatamentos que são interpretados pelo programa HAND como depressões no terreno. Vegetações remanescentes ao longo dos cursos d'água são interpretadas como elevações impedindo que a extração automática detecte corretamente a posição da linha de drenagem. Da mesma forma, a declividade do MDE original aparece acentuada em todas as descontinuidades provocadas pela mudança da cobertura, perdendo totalmente sua utilidade como descritor do terreno. A correção do MDE minimiza os efeitos do desmatamento gerando redes de drenagem mais coerentes e melhorando a interpretabilidade da declividade.

A Figura 7 apresenta dois perfis altimétricos que comparam os MDE antes e após da correção. De modo geral, as feições topográficas locais são preservadas. A subtração de uma constante das áreas de floresta resultou na diminuição da mudança abrupta entre estas áreas e as desmatadas. Também os canais de drenagem ficam mais evidentes após a correção.

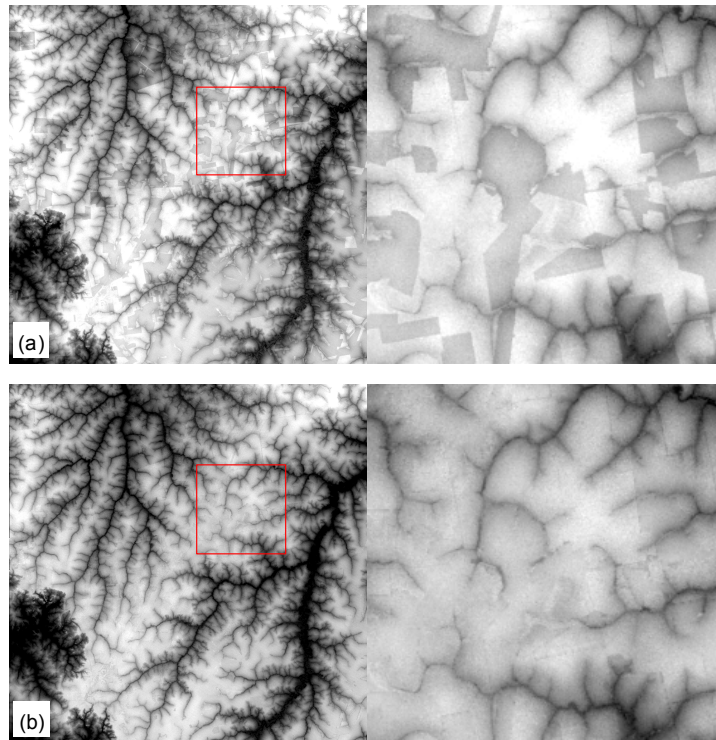


Figura 5. Resultado final da correção do MDE do SRTM: a) MDE original; b) MDE corrigido. As imagens à direita referem-se ao detalhe indicado pelo retângulo vermelho nas imagens à esquerda.

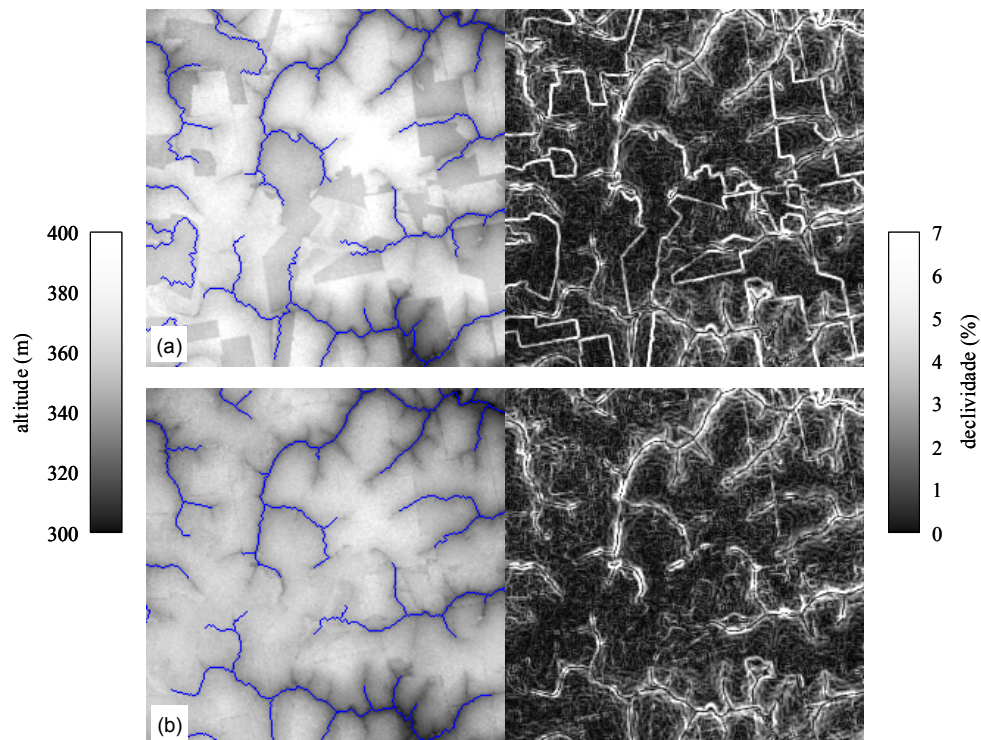


Figura 6. Avaliação da correção do MDE do SRTM: a) MDE original; b) MDE corrigido. As imagens à esquerda referem-se aos MDE e rede de drenagem (linhas em azul) extraídas pelo HAND e as imagens à direita referem-se à declividade calculada a partir dos MDE.

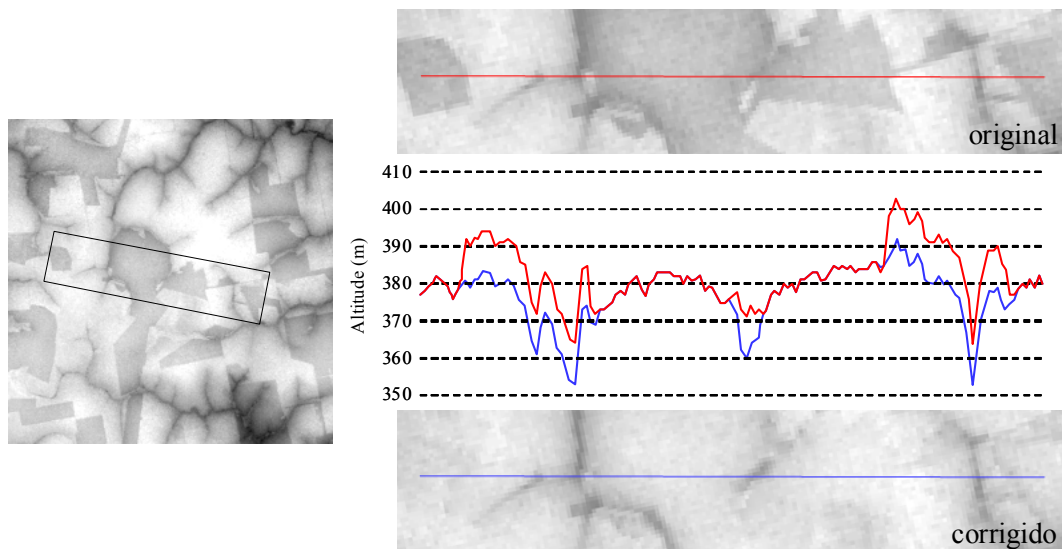


Figura 7. Perfil altimétrico antes (vermelho) e após (azul) a correção do MDE do SRTM.

#### 4. Conclusão

Este trabalho propôs uma metodologia para redução dos efeitos do desmatamento sobre o MDE do SRTM, utilizando imagens ópticas para mapear as áreas de florestas, para as quais um valor pré-definido foi subtraído.

Os resultados indicaram uma grande melhoria do MDE após a correção, no que diz respeito à extração de rede de drenagem e outros atributos do terreno (por exemplo, a declividade). Os artefatos provocados pela mudança abrupta entre classes de cobertura não foram totalmente eliminados mas sua presença não inviabilizou o uso do MDE corrigido.

Esta técnica poderá ser ainda aperfeiçoada de modo a permitir utilizar diferentes valores de subtração em diferentes partes do MDE, obedecendo, por exemplo, o vigor (altura e densidade) da floresta.

#### Referências Bibliográficas

- Bhang, K. J.; Schwartz, F. Limitations in the hydrologic applications of C-Band SRTM DEMs in low-relief settings. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 3, p. 497-501, 2008.
- Bhang, K. J.; Schwartz, F.W.; Braun; A. Verification of the vertical error in C-band SRTM DEM using ICESat and Landsat-7, Otter Tail County, MN. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, vol. 45, n. 1, p. 36-44, 2007.
- Carabajal, C. C.; Harding, D. J. ICESat validation of SRTM C-band digital elevation models. **Geophys. Res. Lett.**, vol. 32, n. 22, p. L22 S01.1-L22 S01.5, 2005.
- Curkendall, D.W.; Fielding, E.J.; Cheng, T.-H.; Pohl, J.M. A computational-grid based system for continental drainage network extraction using SRTM digital elevation models. **Proceedings of the International Conference on Parallel Processing Workshop**, 2003.
- Eineder, M.; Holzner, J. Interferometric DEMs in alpine terrain: limits and options for ERS and SRTM. **Proc. IGARSS**, vol. 7., p. 3210-3212, 2000.
- Hancock, G. R.; Martinez; C., Evans; K. G.; Moliere, D. R. A comparison of SRTM and high-resolution digital elevation models and their use in catchment geomorphology and hydrology: Australian examples. **Earth Surf. Processes Landf.**, vol. 31, n. 11, p. 1394-1412, 2006.
- Kellndorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J.A., Hunsaker, C., Vona, J., Clutter, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. **Remote Sensing of Environment**, 93, 339-358, 2004.
- Kellndorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J.A., Hunsaker, C., Vona, J., Clutter, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. **Remote Sensing of Environment**, vol. 93, n. 3, p. 339-358, 2004.

- Ludwig, R.; Schneider, P. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.**, vol. 60, n. 5, p. 339–358, 2006.
- Rennó, C. D. Sistema interativo de registro de imagens baseado em feições. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6067-6074.
- Rennó, C. D.; Nobre, A. D.; Cuartas, L. A.; Soares, J. V.; Hodnett, M. G.; Tomasella, J.; Waterloo, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, vol. 112, n. 9, p. 339-358, 2008.
- Rodriguez, E.; Morris, C.S.; Belz, J.E. A Global Assessment of the SRTM Performance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol. 72, n. 3, p. 249-260, 2006.
- Smith, B.; Sandwell, D. Accuracy and resolution of Shuttle Radar Topography Mission data. **Geophys. Res. Lett.**, vol. 30, n. 9, p. 1467, 2003.
- Valeriano, M.M.; Kuplich, T.M.; Storino, M.; Amaral, B.D.; Mendes, J.N.; Lima, D.J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90 m data. **Computer Geosciences**, vol. 32, p. 1169-1181, 2006.
- van Zyl, J.J. The shuttle radar topography mission breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, vol. 48, n. 5-12, p. 559-565, 2001.