

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/339003675>

# Avaliação da consistência hidrológica de modelos digitais de elevação para a definição da rede de drenagem de bacias hidrográficas.

Poster · November 2019

DOI: 10.13140/RG.2.2.31939.25764

CITATIONS

0

READS

11

7 authors, including:



Felipe Anjinho  
University of São Paulo

9 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mariana Barbosa  
University of São Paulo

6 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Gabriela Neves  
University of São Paulo

15 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Allita Santos  
University of São Paulo

9 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project

Estudos Quantitativos e Qualitativos dos corpos hídricos aplicados ao Reservatório do Lobo e seus Afluentes [View project](#)

Project

Planejamento e gestão ambiental: uma proposta metodológica [View project](#)

SYSNO 2999376  
PROD 22423  
ACERVO HESC

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA HIDROLÓGICA DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO PARA A DEFINIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

*Phelipe da Silva Anjinho<sup>1</sup>; Mariana Abibi Guimarães Araujo Barbosa<sup>2</sup>; Gabriela Leite Neves<sup>3</sup>; Camila Bermond Ruezzene<sup>4</sup>; Allita Rezende dos Santos<sup>5</sup>; Denise Parizotto<sup>6</sup> & Frederico Fábio Mauad<sup>7</sup>*

**RESUMO** – Os Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HCs) são ferramentas importantes para aquisição e análise de informações fisiográficas e hidrológicas. Desta forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar a consistência hidrológica de diferentes MDE-HCs na definição da rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, localizada na região centro-leste do estado de São Paulo. Para gerar os MDE-HCs, foram utilizadas imagens obtidas por sensoriamento remoto dos produtos ALOS PALSAR, ASTER GDEM e SRTM, além de cartas topográficas em escala 1:50.000. A consistência hidrológica foi avaliada comparando as drenagens extraídas dos MDE-HCs com a rede de drenagem mapeada. A análise dos parâmetros fisiográficos mostrou que todos os MDE-HCs superestimaram a rede de drenagem da bacia no que se refere à extensão da rede de drenagem, número de nascentes e densidade de drenagem. Os resultados da análise das áreas entre as curvas de drenagem simuladas e mapeada mostraram que não existem diferenças muito grandes entre os MDE-HCs analisados nesse trabalho.

**ABSTRACT**– Digital elevation models (HCDEM) are important tools for the acquisition and analysis of physiographic and hydrological information. Therefore, the objective of this work was to evaluate the hydrological consistency of different HCDEM in the definition of the drainage network of the Lobo stream river basin, located in the central-eastern region of the São Paulo state. In order to generate the HCDEM, images obtained by remote sensing of the ALOS PALSAR, ASTER GDEM and SRTM products were used, as well as topographic charts in 1:50,000 scale. The hydrological consistency was evaluated by comparing the drainage extracted from the HCDEM with the reference drainage network. The analysis of the physiographic parameters showed that all HCDEM overestimated the drainage network of the basin in relation to drainage network extension, number of springs and drainage density. The results of the analysis of the areas between the simulated and reference drainage curves showed that there are not very large differences between the HCDEM analyzed in this work.

**Palavras-Chave** – Modelos de terreno. Sensoriamento Remoto. Ribeirão do Lobo.

1) Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

2) Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail





## INTRODUÇÃO

Os modelos digitais de elevação (MDEs) são ferramentas fundamentais para aquisição e análise de informações fisiográficas e hidrológicas, que são importantes para qualquer estudo que tenha como interesse modelar os fenômenos e processos que ocorrem na superfície terrestre. A precisão dessas informações dependerá da qualidade do MDE gerado.

Atualmente, existem muitas formas para gerar modelos digitais de representação da superfície. O modelo ideal é aquele que apresenta maior consistência geomorfológica e hidrológica, representando fidedignamente as feições do relevo, como divisores de bacias hidrográficas, talvegues, formas côncavas e convexas do terreno, além de assegurar a convergência do escoamento superficial com a rede de drenagem mapeada (HOFFMANN OLIVEIRA, 2012).

O processo de validação da consistência hidrológica de um MDE é muito importante para certificar-se de que o algoritmo de interpolação utilizado seja capaz de gerar informações condizentes com a realidade. Segundo Callow *et al.* (2007), a grande maioria dos métodos utilizados para a geração de MDEs não representam bem as características fisiográficas, por exemplo, a rede de drenagem em áreas planas. A configuração adequada da hidrografia de uma área está relacionada com as direções de escoamento em cada célula do MDE que, por sua vez, depende do método de geração da rede de drenagem e da qualidade do MDE gerado (BUARQUE *et al.*, 2009).

A construção de um MDE demanda dados de altitude num conjunto numérico coordenado (DE MACÊDO; SURYA, 2018). Os MDEs podem ser elaborados a partir de levantamentos topográficos ou aerofotogramétricos, em que os dados gerados são interpolados com o propósito de gerar uma superfície que represente os valores altimétricos de uma determinada região. Outra forma é por meio do sensoriamento remoto. Esse método utiliza sensores a bordo de satélites para captar a radiação refletida e converter essas informações em dados de elevação do terreno.

Existem vários MDEs disponíveis nas principais bases de dados de órgãos públicos espalhados pelo mundo. Os mais difundidos em estudos hidrossedimentológicos são os produtos ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*); ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) GDEM (*Global Digital Elevation Model*) e SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

O ALOS é um satélite japonês desenvolvido pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). É composto por três tipos de sensores: o *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) para o mapeamento digital de elevação; o *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2), para a observação precisa da cobertura da terra; e um radar de abertura sintética (SAR), o *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), para

a observar a terra dia e noite e sobre qualquer tipo de clima (JAXA, 2019). Os produtos ALOS PALSAR estão disponíveis gratuitamente em formato GeoTiff na *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2019), em baixa (30 metros) e alta (12 metros) resolução espacial.

Os produtos ASTER GDEM foram desenvolvidos a partir de um consórcio entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e o *Ministry of Economy, Trade, and Industry* (METI) of Japan. O ASTER coleta dados da superfície usando câmeras de infravermelho próximo como o NADIR e POPA. Produz MDEs de cena única (60 x 60 km), com precisão vertical de erro quadrático médio (RMSE) entre 10 e 25 metros. O ASTER GDEM cobre superfícies terrestres entre 83 ° N e 83 ° S e é composto por 22.702 telhas. Os dados estão disponíveis gratuitamente em formato GeoTiff, com resolução espacial de 30 metros (1 arco-segundo) (TACHIKAWA *et al.*, 2011).

A missão SRTM realizada a bordo do ônibus espacial Endeavor foi um projeto internacional realizado pela NASA em parceria com *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), Agência Espacial Alemã (DLR) e Agência Espacial Italiana (ASI) (DUARTE; ASSAD, 2007). Esse projeto teve como objetivo gerar informações altimétricas de toda a superfície da terra a partir de sensores ativo (radar). Os produtos oriundos da missão SRTM estão disponíveis em formato GeoTiff, com resolução espacial de 30 metros (1 arco-segundo) e 90 metros (3 arcos-segundo), dependendo da região do globo mapeada. Para a América do Sul, as imagens estão disponíveis com resolução de 90 metros. Entretanto, a partir de ferramentas de geoprocessamento, foi realizado um refinamento das imagens, em que a resolução passou de 90 para 30 metros (VALERIANO *et al.*, 2009). Essas imagens refinadas são disponíveis pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do projeto TOPODATA.

Dentro desse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a consistência hidrológica de diferentes modelos digitais de elevação, obtidos a partir de sensores remotos (ALOS PALSAR, ASTER GDEM, SRTM) e cartas topográficas em escala 1:50.000, na definição da rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo (Figura 1), localizada na região centro-leste do estado de São Paulo, entre os municípios de Brotas e Itirapina, nos paralelos 22° 9' 30" S e 22° 20' 0" S e meridianos 47° 57' 0" W e 47° 45' 0" W. Possui área de 223,33 km<sup>2</sup> e seus limites se situam no interior da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI 13) dos rios Tietê e Jacaré-Guaçu.



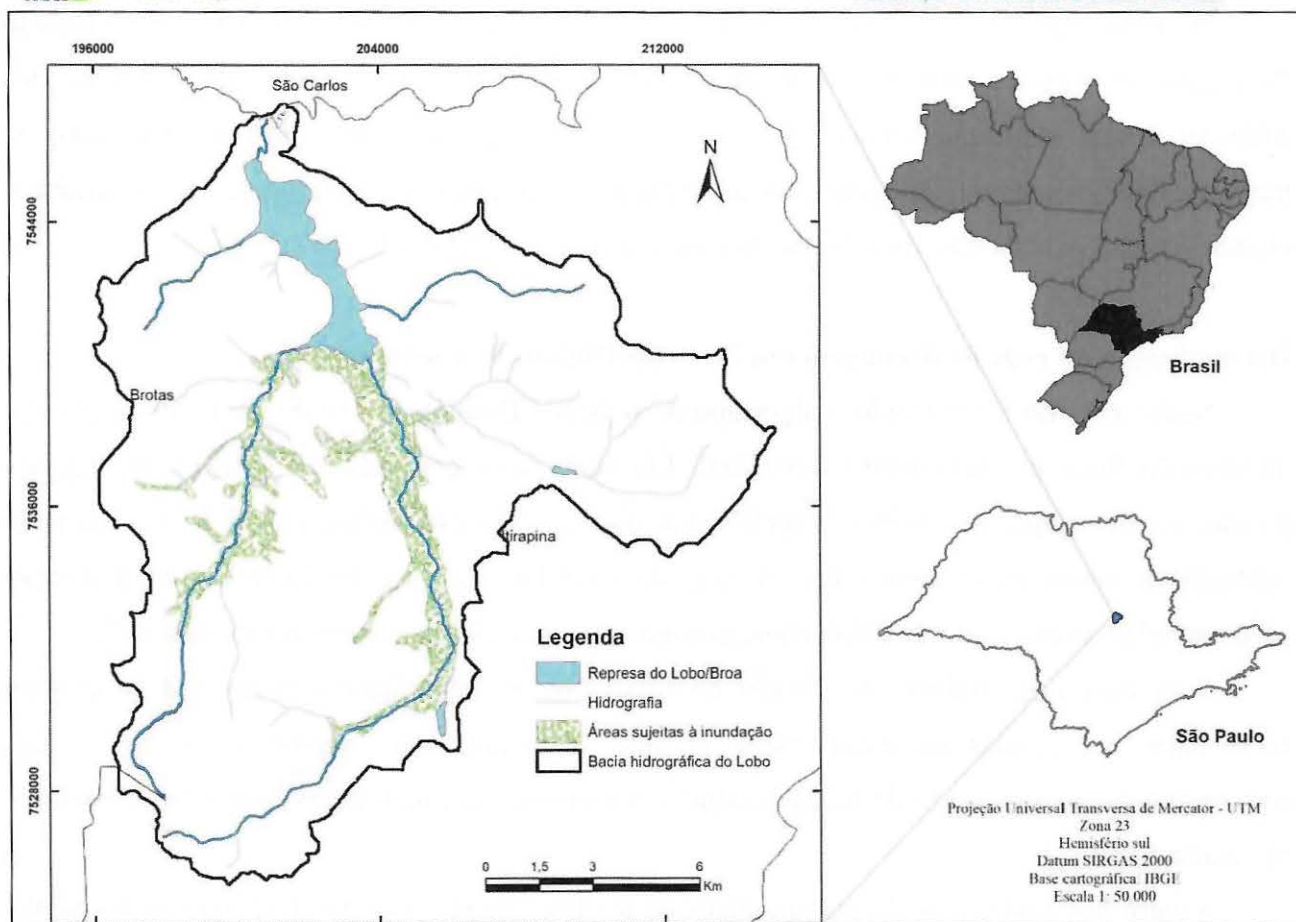


Figura 1 - Bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo.

### Base de dados

Os dados utilizados neste trabalho foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), *Alaska Satellite Facility* (ASF) e no *United States Geological Survey* (USGS). Para montagem da base de dados foram utilizadas:

- Cartas topográficas dos municípios de Itirapina (SF-23-M-I-3) e São Carlos (SF-23-Y-A-I-1) em escala 1: 50.000;
- Imagens SRTM de 30 metros de resolução espacial;
- Imagens ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial; e
- Imagens ASTER GDEM de 30 metros de resolução espacial.

### Processamento dos Modelos Digitais de Elevação

Com o objetivo de obter o modelo com maior consistência hidrológica para a área de estudo, nesse trabalho foram gerados quatro Modelos Digitais de Elevação Hidrológicamente Consistidos (MDE-HC), com base nas imagens SRTM, ALOS PALSAR, ASTER GDEM e cartas topográficas do IBGE. Para tal, foram utilizados dados de pontos cotados, curvas de níveis e rede de drenagem que foram extraídos das cartas topográficas dos municípios de Itirapina e São Carlos; e dados altimétricos extraídos dos MDEs. A resolução espacial utilizada foi de 30 metros para todos os MDE-HCs.

Os dados supracitados foram interpolados utilizando o interpolador Topo to Raster. O Topo to Raster permite utilizar uma grande variedade de dados vetoriais na elaboração de MDEs. No caso dos MDE-HCs, esse algoritmo permite, por exemplo, utilizar dados de drenagem na elaboração de modelos, direcionando o relevo conforme a hidrografia mapeada, o que assegura maior coincidência espacial entre a rede de drenagem mapeada com a gerada pelo MDE-HC.

### **Determinação da rede de drenagem dos Modelos Digitais de Elevação**

Nesse trabalho foi utilizado o algoritmo de Jenson e Domingues (1988) para a definição das direções do fluxo do escoamento superficial. Em suma, a determinação da direção do fluxo do escoamento ocorre por um critério de declividade, ou seja, a direção preferencial de uma célula varia conforme a maior declividade entre as suas oito células vizinhas, formando assim a direção preferencial do escoamento de cada célula, que terá uma única direção entre as oito possíveis.

Com base nos modelos de direção de fluxo, foram determinadas as áreas de drenagem acumuladas por células na bacia. Neste método, cada célula de referência recebe o valor correspondente ao somatório de todas as células a montante, gerando dessa forma um modelo de fluxo acumulado.

A partir dos modelos de fluxo acumulado, foram determinadas as redes de drenagem dos MDE-HCs analisados nesse trabalho. Foram testados vários limiares de acumulação para identificar o limiar que apresentasse maior semelhança com a rede de drenagem de referência. Após várias tentativas, nesse estudo, optou-se por utilizar o limiar de 1.000 *pixels*.

### **Avaliação da consistência hidrológica dos Modelos Digitais de Elevação**

Neste trabalho, a consistência hidrológica dos MDEs foi avaliada a partir da comparação entre as drenagens extraídas dos MDE-HCs com a rede de drenagem mapeada nas cartas topográficas do IBGE, utilizadas como referência nessa pesquisa.

Foi utilizado o método de comparação proposto por Buarque *et al.* (2009), que compara as redes de drenagem com base na determinação da área entre as linhas de drenagem utilizadas como referência e as linhas de drenagem obtidas pelos modelos. Segundo essa metodologia, a área entre as drenagens analisadas pode ser tratada como uma estimativa do erro gerado por cada modelo, além disso, essa área dividida pelo comprimento da rede de drenagem resulta em uma largura média do erro, representando fisicamente a distância média entre a drenagem modelada e a de referência.

Além do método supracitado, nesse trabalho, também foram determinados alguns parâmetros fisiográficos dos MDE-HCs com o propósito de auxiliar a avaliação da consistência hidrológica dos modelos.



## RESULTADOS

Os MDE-HCs gerados para a bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo são apresentados na Figura 2. De modo geral, as altitudes dos modelos variam de 653 a 975 metros. As regiões mais elevadas da bacia situam-se a montante do reservatório, próximas as nascentes do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo. As áreas de menor altitude concentram-se nas planícies de inundação do ribeirão do Lobo e rio Itaqueri, seguindo em direção à foz da bacia, onde se encontra o reservatório do Lobo.

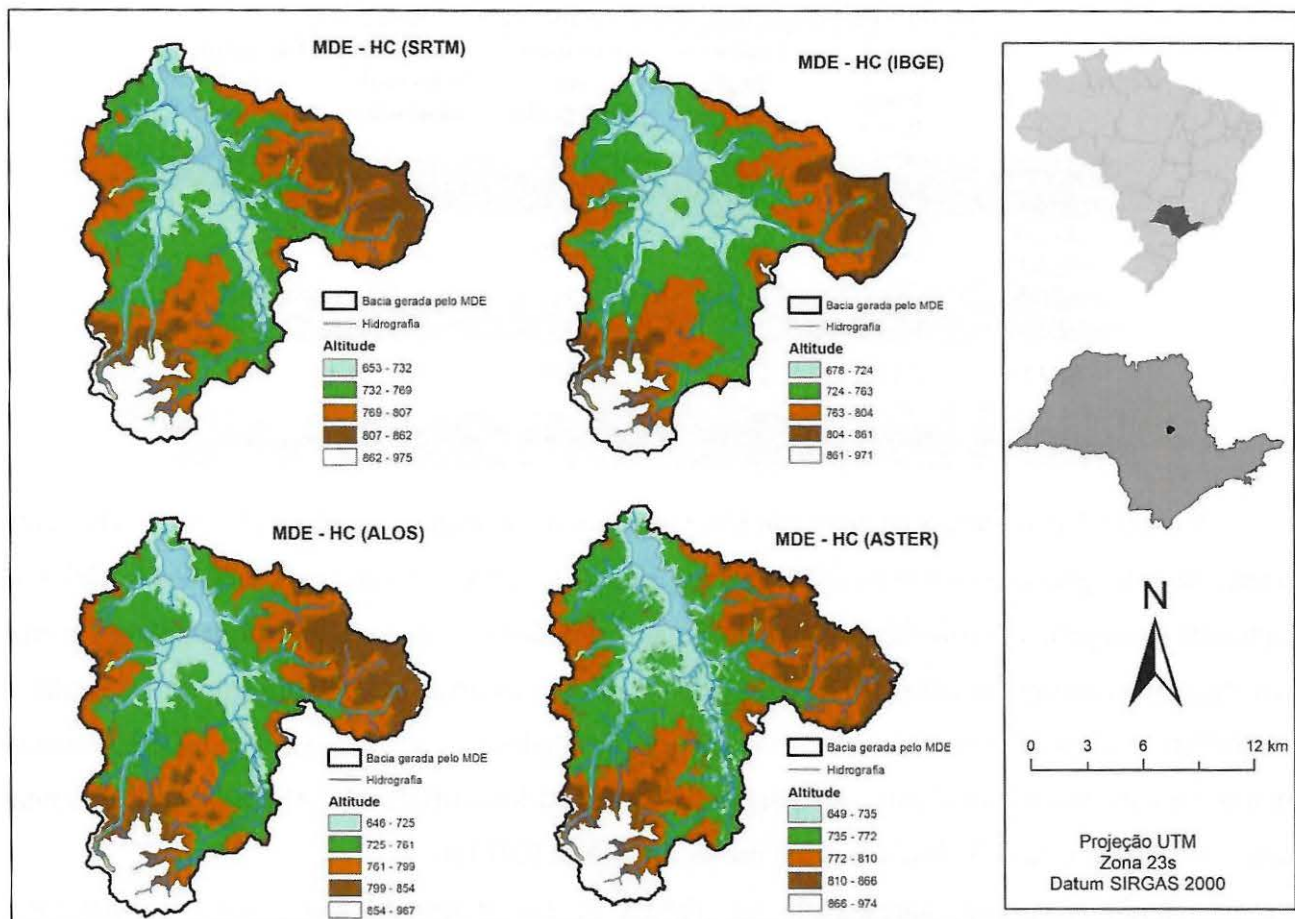


Figura 2 - Modelos digitais de elevação gerados para a área de estudo.

Foram determinados alguns parâmetros fisiográficos dos MDE-HCs com o propósito de comparar com os valores de referência (Tabela 1). De todos os parâmetros analisados, observa-se que a área da bacia e o tamanho do rio principal foram os que apresentaram maior semelhança com os valores de referência para todos os MDE-HCs. O modelo que apresentou maior discrepância foi o MDE-HC (IBGE) em que a variação da área da bacia foi de 3% e a variação do tamanho do rio principal foi igual a 6%.

Entretanto, para os demais parâmetros fisiográficos, o modelo MDE-HC (IBGE) foi o que apresentou os valores mais próximos aos valores de referência, seguido pelo modelo MDE-HC (SRTM) e MDE-HC (ALOS). O modelo MDE-HC (ASTER) foi o que apresentou maior discrepância para os parâmetros densidade de drenagem e extensão da hidrografia.

Os dados fisiográficos gerados pelos MDE-HCs mostram que todos os modelos superestimaram a rede de drenagem da bacia, comparando com os dados de drenagem mapeados pelas cartas topográficas em escala 1:50.000. Esse resultado pode estar associado aos limiares utilizados nesse trabalho (1.000 *pixels*). No entanto, ressalta-se que esses valores foram os que, visualmente, mais se adequaram na representação da rede de drenagem da área de estudo.

Tabela 1 - Parâmetros fisiográficos gerados para a área de estudo.

|                       | Área da bacia (km <sup>2</sup> ) | Tamanho do rio principal (km) | Extensão da hidrografia (km) | Número de nascentes | Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| Valores de referência | 223,33                           | 24,26                         | 126,72                       | 42                  | 0,56                                        |
| ALOS PALSAR           | 219,53                           | 23,26                         | 161,49                       | 64                  | 0,72                                        |
| ASTER GDEM            | 220,34                           | 22,93                         | 169,34                       | 64                  | 0,76                                        |
| SRTM                  | 221,22                           | 23,16                         | 150,45                       | 57                  | 0,67                                        |
| IBGE                  | 217,6                            | 22,79                         | 141,8                        | 56                  | 0,63                                        |

A Figura 3 apresenta a comparação entre as redes de drenagem geradas pelos MDE-HCs com a rede de drenagem de referência. Analisando os dados, foi observado que para todos os modelos as linhas de drenagem não coincidem com a drenagem verdadeira. Com o objetivo de quantificar o erro das drenagens estimadas pelos modelos, foram calculadas as áreas entre as drenagens estimadas e verdadeira, e a largura média do erro (Tabela 2). Os resultados indicam que o modelo que apresentou maior coincidência espacial com a drenagem de referência foi o MDE-HC (ASTER), com área total entre as drenagens de 1,32 km<sup>2</sup> e largura média do erro de 0,01 km.

Contudo, conforme apresentado na Tabela 2, foi observado que todos os MDE-HCs apresentaram bons resultados em determinar a rede de drenagem na bacia. Nota-se que alguns modelos apresentaram melhores resultados em determinados trechos, enquanto outros se sobressaíram em outros trechos da rede de drenagem. Porém, as maiores diferenças para ambos os modelos ocorreram nas áreas planas da bacia e em trechos meândricos dos cursos hídricos.

Estudos realizados por Buarque *et al.* (2009), Oliveira *et al.* (2012) Souza e Almeida (2014), também constataram dificuldades em simular a rede de drenagem em regiões planas. Nessas áreas, os algoritmos geralmente apresentam dificuldades em identificar a direção do fluxo do escoamento superficial. Portanto, os erros espaciais que ocorreram na simulação das redes de drenagem geradas a partir dos MDEs podem estar mais relacionados com a deficiência do algoritmo utilizado para identificar a direção do fluxo, do que com os próprios MDEs utilizados nesse trabalho.



Tabela 2 - Área entre as drenagens e distância média do erro.

| Modelo      | Área entre as drenagens (km <sup>2</sup> ) | Distância média do erro (km) |
|-------------|--------------------------------------------|------------------------------|
| ALOS PALSAR | 3,66                                       | 0,03                         |
| ASTER GDEM  | 1,32                                       | 0,01                         |
| SRTM        | 2,06                                       | 0,02                         |
| IBGE        | 5,55                                       | 0,04                         |

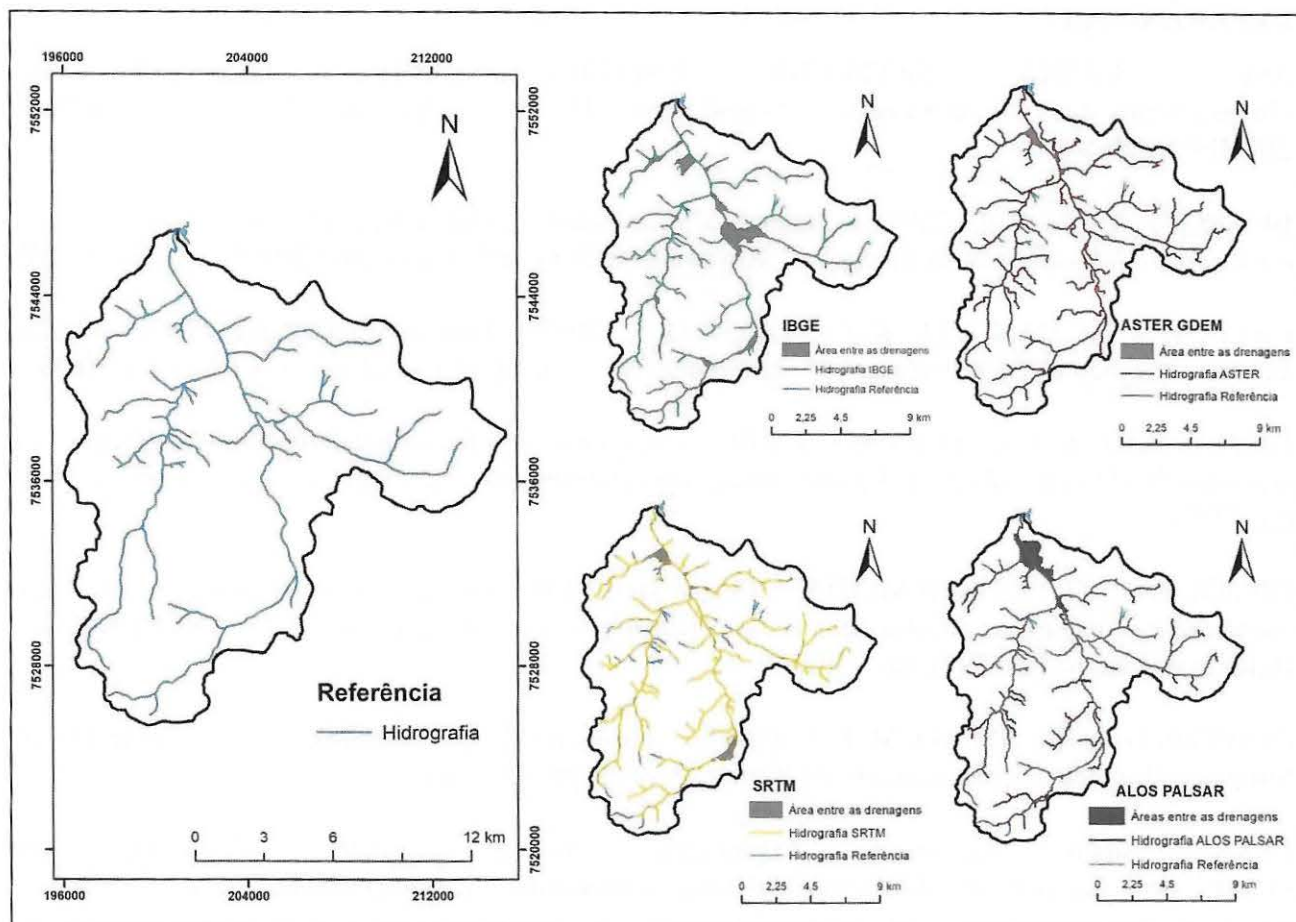


Figura 3 - Comparação entre as redes de drenagem geradas pelos MDEs com a rede de drenagem de referência.

## CONCLUSÕES

A análise dos parâmetros fisiográficos mostrou que todos os MDE-HCs superestimaram a rede de drenagem da bacia no que se refere à extensão da rede de drenagem, número de nascentes e densidade de drenagem. No entanto, foi observado que os dados fisiográficos derivados do MDE-HC (IBGE) foram os que mais se aproximaram dos valores de referência utilizados nesse trabalho.

Os resultados da análise das áreas entre as curvas de drenagem simuladas e de referência, bem como a distância média do erro, mostraram que não existem diferenças muito grandes entre os MDE-HCs. Entre os modelos analisados, o MDE-HC (IBGE) foi o que apresentou maior discrepância com os dados de referência.

Embora o método utilizado possa ser usado para analisar a qualidade da drenagem gerada por MDE-HCs, em algumas bacias, como a bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, muitas vezes a percepção do analista e seu conhecimento sobre a área de estudo é fundamental na escolha do melhor modelo, pois as peculiaridades do terreno e o padrão de drenagem da área de estudo devem ser levados em consideração na seleção do melhor MDE-HC.

## REFERÊNCIAS

- ASF. ALASKA SATELLITE FACILITY. (2019). Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu>>. Acesso em 25 de março de 2019. doi: 10.5067/Z97HFCNKR6VA
- BUARQUE, D. C. et al. (2009). “*Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 14 (2), pp. 91-103.
- CALLOW, J. N.; VAN NIEL, K. P.; BOGGS, G. S. (2007). “*How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?*”. Journal of hydrology 332 (1-2), pp. 30-39.
- DE MACÊDO, R. J. A.; SURYA, L. (2019). “*Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno*”. Revista Contexto Geográfico 3(6), pp. 47-55.
- DE SOUZA, J. O. P.; DE ALMEIDA, J. D.’arc M. (2014). “*Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos*”. Boletim de Geografia 32 (2), pp. 134-149.
- DUARTE, G. G. F.; ASSAD, M. L. L. (2007). “*Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto”, v. 13, pp. 4849-4855.
- JAXA. Japan Aerospace Exploration Agency. (2019). Disponível em: <[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about\\_index.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm)>. Acesso em 26 de março de 2019.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. (1988). “*Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*”. Photogrammetric engineering and remote sensing 54 (11), pp. 1593-1600.
- HOFFMANN OLIVEIRA, A. et al. (2012). “*Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36 (4), pp. 1260-1267.
- TACHIKAWA, T. et al. (2011). *ASTER global digital elevation model version 2-summary of validation results*. NASA.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. (2009). “*TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional*”. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, São José dos Campos: INPE, pp. 5499- 5506.