

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/7: 1287-1301

Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto

ISSN: 1808-0936

## **AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE REDES DE DRENAGEM OBTIDAS A PARTIR DE MODELOS SRTM E ASTER COM O USO DOS *SOFTWARES ARCGIS E QGIS***

*Evaluation of Positional Accuracy of Drainage Networks Obtained from SRTM and ASTER Models Using ArcGIS and QGIS Software*

**Franciele Marques Tolentino, Claudionor Ribeiro da Silva & Fernando Luiz de Paula Santil**

**Universidade Federal de Uberlândia – UFU**

**Instituto de Geografia**

Rua Goiás, 2000, Vila Nova, Monte Carmelo - Minas Gerais, Brasil  
francielemarques87@hotmail.com, crs@ufu.br, santilflp@gmail.com

*Recebido em 7 de Abril, 2017/ Aceito em 11 de Julho, 2017*

*Received on April 7, 2017/ Accepted on July 11, 2017*

### **RESUMO**

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) gerados por sensores de mapeamento tridimensional podem ser úteis ao planejamento urbano e rural como também para a atualização cartográfica. Contudo, há uma lacuna com relação à validação dos próprios MDEs e de seus subprodutos. O ponto principal está relacionado às metodologias para se avaliar a qualidade posicional e semântica das informações obtidas, de forma automática, por meio desses produtos. Em função da diversidade e complexidade das informações que estes modelos podem apresentar, este trabalho aponta inicialmente para a rede de drenagem. Como início desse processo, os operadores de simplificação e suavização foram aplicados a esses modelos e comparados com a carta vetorizada da área da bacia do rio Jordão (MG). Tanto a geração desses modelos quanto a vetorização da carta topográfica foram controlados por meio de teste estatístico para análise da compatibilidade visual entre eles. As rotinas computacionais implementadas nos *softwares ArcGis* e *QGis* foram utilizadas no processo de generalização cartográfica dos produtos gerados a partir dos MDEs ASTER e SRTM. Os produtos gerados a partir do MDE ASTER foram classificados nas classes B, C e D (PEC), de acordo com a escala e *softwares* utilizados. Por outro lado, o produto gerado a partir dos dados SRTM atingiu a qualidade correspondente à classe A (PEC), na escala 1:500.000, usando o algoritmo implementado no *software ArcGis*.

**Palavras-chave:** SRTM, ASTER, MDE, PEC, Acurácia Posicional.

### **ABSTRACT**

Digital Elevation Models (MDEs) generated by three-dimensional mapping sensors can be useful for urban and rural planning as well as cartographic updating. However, there is a gap with regard to the validation of the MDEs themselves and their by-products. The main point is related to the methodologies to evaluate the positional and semantic quality of the information obtained, automatically, through these products. Due to the diversity and complexity of the information that these models can present, this work points initially to the drainage network. As a starting point for this process, simplification and smoothing operators were applied to these models and compared to the vector chart of the Jordan River basin area (Araguari/MG). Both the generation of these models and the vectorization of the topographic chart were controlled by means of a statistical test to analyze the visual compatibility between them. The computational

routines implemented in the *ArcGis* and *QGIS* software were used in the cartographic generalization process of the products generated from the ASTER and SRTM MDEs. The products generated from the MDE ASTER were classified in classes B, C and D (PEC), according to the scale and *software* used. On the other hand, the product generated from the SRTM data reached the quality corresponding to class A (PEC), in scale 1: 500,000, using the algorithm implemented in *ArcGis* software.

**Keywords:** SRTM, ASTER, MDE, PEC, Positional Accuracy.

## 1. INTRODUÇÃO

Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são modelos digitais que representam a superfície considerando toda a elevação do terreno e os objetos existentes sobre ele. Nesse sentido, existe um grande interesse na utilização de MDEs no âmbito dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), devido à facilidade de extração de informações e por estar disponível para uso de todos, respectivamente. No entanto, de acordo com Galo & Carmargo (1994), o grande interesse por dados espaciais e por *softwares* de fácil manuseio, faz com que o número de usuários, não especialistas em mapeamento, aumente e a questão da qualidade de produtos espaciais seja esquecida.

Como produto, é importante avaliar a qualidade posicional das redes de drenagens extraídas a partir de MDEs, uma vez que estes constituem uma importante ferramenta para a geração de produtos cartográficos e, na maioria das vezes, constituem a única informação disponível para essa aplicação.

No Brasil, o controle da qualidade de produtos cartográficos é regulamentado pelo Decreto-Lei 89.817 de 1984 (SANTOS, 2010), que estabelece padrões e procedimentos para a avaliação do mapa, enquanto produto final.

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar o potencial de MDEs para a extração automática de redes de drenagem, bem como avaliar a qualidade posicional planimétrica dessas feições, obtidas automaticamente a partir dos modelos ASTER e SRTM, em múltiplas escalas, usando operadores de simplificação e suavização de generalização cartográfica. Estes operadores atuam como uma representação abstrata ou genérica descrevendo o tipo de modificação que pode ser usada quando se generaliza uma feição de interesse (NYANGWESO *et al.*, 2016).

## 2. MODELOS DIGITAIS

Há uma diversidade de denominações para modelos digitais que representam a superfície

terrestre, causando muitas vezes confusão e até erros de interpretação em diversos trabalhos, chegando a considerá-los sinônimos. Algumas nomenclaturas existentes são: Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Superfície (MDS) e ainda Modelo Numérico do Terreno (MNT).

Nesse estudo, cada modelo é entendido como segue: o MDE é tratado como a representação da superfície que considera toda a elevação do terreno e os objetos existentes sobre ele. Para representar as variações de altitude na superfície do terreno, sem incluir os objetos existentes sobre ela, como vegetação e feições antrópicas, utiliza-se o modelo denominado de MDT. Se o modelo digital contém informações apenas sobre os objetos existentes sobre o relevo/terreno, então trata-se do MDS. Um novo conceito vem sendo utilizado para esse modelo, denominado de Modelo Digital de Superfície Normalizado (MDSn), derivado da diferença entre o MDT e MDS. Por fim, o MNT é entendido como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial (geológico, meteorológico, geoquímico, etc.) que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Diante do exposto, os modelos SRTM e ASTER são entendidos como MDE (CENTENO *et al.*, 2009, FELGUEIRAS & CÂMARA, 2017).

A *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi uma missão realizada pela Agência Espacial Norte Americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em parceria com outros órgãos, com o propósito de gerar um modelo digital de elevação de abrangência global, por meio de técnicas de interferometria de radar de abertura sintética (InSAR). O instrumento que gerou os MDEs SRTM consiste em uma plataforma espacial de mapeamento por Radar de Abertura Sintética (SAR), instalados numa antena de 60 metros de comprimento acoplada em um ônibus

espacial, o Endeavour. Esta missão proporcionou a geração de modelos de elevação entre 60° de latitude norte e 54° de latitude sul, correspondendo a, aproximadamente, 80% da área continental do planeta (SRTM, 2017). Inicialmente, os modelos SRTM foram disponibilizados para a América do Sul na resolução espacial de 90 m, no sistema de coordenadas WGS84.

De acordo com o *Ministry of Economy, Trade, and Industry* (METI) do Japão e a NASA, o modelo de elevação *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) é um instrumento a bordo do satélite TERRA, em funcionamento desde 1999, por meio do projeto GDEM. Ao contrário do modelo SRTM, esse modelo foi disponibilizado para a América do Sul com resolução espacial de 30 m. As imagens ASTER possuem recobrimento entre 83° de latitude norte e 63° de latitude sul, abrangendo aproximadamente 99% da superfície terrestre (ASTER, 2017).

### 3. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS ESPACIAIS

A demanda cada vez maior por informações espaciais faz com que a disponibilidade de dados espaciais, gratuita ou não, cresça a cada dia. Essa distribuição é interessante, porém deve-se conhecer qualidade posicional dos produtos derivados a partir da geração dos MDE.

O controle da qualidade de produtos cartográficos no Brasil é regido pelo Decreto-Lei 89.817 de 1984, que estabelece padrões e procedimentos a serem adotados na elaboração e apresentação de produtos cartográficos. Isso implica em investigar as possibilidades de uso de um conjunto de dados, bem como assegurar a exatidão cartográfica desses produtos geoespaciais (BRASIL, 1984).

O Decreto-Lei 89.817 de 1984 apresenta o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), em seu Art. 8, como sendo um indicador estatístico de Dispersão, relativo a 90% de probabilidade, correspondendo a 1,6449 vezes o Erro-Padrão (PEC = 1,6449 EP) (BRASIL, 1984).

O objetivo desse Decreto-Lei é garantir a exatidão cartográfica de produtos analógicos, de acordo com as especificidades da escala de representação. Entretanto, a evolução tecnológica e a demanda por dados cartográficos digitais indicam a necessidade de serem estabelecidos

novos padrões de controle de qualidade destes produtos. À luz dessa necessidade, em 2011 foi publicada pela DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro), em parceria com a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), visando expor os conceitos relacionados com a qualidade posicional desejada para os produtos cartográficos digitais (PCD).

De acordo com as especificações da ET-ADGV (DSG-CONCAR, 2016), os produtos cartográficos digitais devem ser classificados em 4 classes (“A”, “B”, “C” e “D”), tendo por base o Decreto 89.817 de 1984. Cabe destacar, que para escalas não abrangidas por esse decreto foram realizadas extrapolações, porém mantendo-se os valores previstos do PEC Planimétrico e do PEC Altimétrico (DSG-CONCAR, 2016).

Diante do exposto, a escolha da escala de representação nesse estudo é de grande importância, visto que foi analisado como os algoritmos de generalização cartográfica se adaptam às feições da rede de drenagem concomitantemente com mudanças de escala. Sendo assim, foram feitas as seguintes mudanças de escala: para o MDE ASTER foram testadas as escalas 1:250.000 e 1:500.000 e para o MDE SRTM foi verificada somente a escala 1:500.000, devido as limitações de sua resolução espacial, sendo de 30 m para o MDE ASTER e 90 m para o MDE SRTM. A Tabela 1 aponta os valores de tolerância de acordo com o PEC-PCD

Tabela 1: Valores de tolerância de acordo com o PEC-PCD

PEC (mm)	EP (mm)	CLASSES	1:250.000		1:500.000	
			PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
0,28	0,17	A	70	42,5	140	85
0,50	0,30	B	125	75	250	150
0,80	0,50	C	200	125	400	250
1,00	0,60	D	250	150	500	300

### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, nesse tópico, é apresentada uma caracterização e localização da área de estudo. Na sequência foram apresentados os dados utilizados nesse estudo. Por fim, foram apresentados os procedimentos metodológicos,

divididos em cinco tópicos: a) extração de redes e fluxos de drenagem; b) vetorização manual das cartas topográficas; c) classificação da vetorização manual das cartas topográficas; d) aplicação dos algoritmos de generalização cartográfica; e e) avaliação da acurácia posicional.

#### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (BHRJ), localizada no município de Araguari, em Minas Gerais, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1). O rio Jordão percorre aproximadamente 95 km, desde a nascente até a sua foz no rio Paranaíba (SALLA *et al.*, 2013).

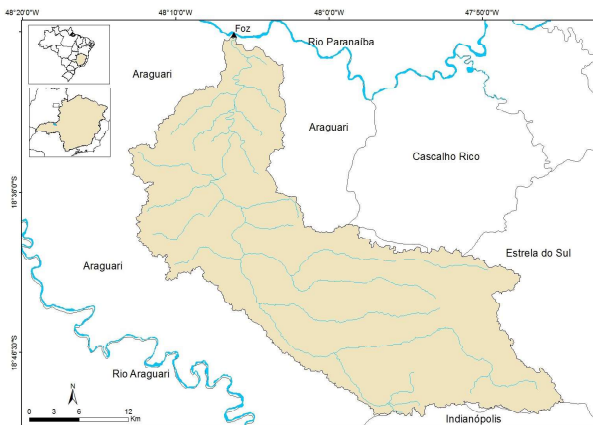


Fig. 1 - Localização e os limites municipais da bacia hidrográfica do Rio Jordão.

A BHRJ é caracterizada por apresentar baixas declividades, com predominância de declividades entre 0% a 3,9%. Além disso, apresenta as seguintes formações geológicas: Araxá – Unidade A, Jurubatuba e Araxá – Unidade B, presentes na porção superior da bacia onde possui maiores variações do relevo, ou seja, locais de relevo acidentado. Ainda, são encontradas as formações Serra Geral, Coberturas Detrito Lateríticas e Marília, que estão presentes em locais de relevo mais suave, sendo característicos, nesta bacia, de locais onde ocorrem atividades agropecuárias (CPRM, 2017).

#### 4.2 Banco de Dados

- Modelos digitais de elevação SRTM EMPRAPA (90 m) e ASTER GDEM (30 m). Os dados SRTM e ASTER GDEM foram adquiridos, respectivamente, nos sites da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e da

empresa ASTER GDEM.

- As cartas topográficas SE-22-Z-B-III, SE-22-Z-B-VI, SE-23-Y-A-IV relativas à bacia hidrográfica do rio Jordão, na escala de 1:100.000, obtidas no site da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG).

#### 4.3 Procedimentos Metodológicos

Com base nos objetivos propostos, este item apresenta a metodologia desenvolvida para determinar a acurácia posicional de redes de drenagem extraídas a partir dos modelos digitais de elevação SRTM e ASTER.

##### 4.3.1 Extração de redes e fluxos de drenagem

Para a extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Jordão foram utilizados os MDEs SRTM e ASTER em ambos os softwares: ArcGis e QGis.

A delimitação automática de redes de drenagem no *software* ArcGIS 10 é desenvolvida a partir da ferramenta Hydrology, seguindo os passos abaixo:

a) Aplicação do comando “fill sinks”, que elimina as áreas sem informação que ocasionam retenção do fluxo. Estas áreas sem informações são erros de interpolação que acabam gerando áreas de depressão e ou alta altitude em áreas de valores homogêneos (TRIUMPHO, 2015).

b) Cálculo da direção de fluxo (“flow direction”), que define as direções de escoamento da água na bacia hidrográfica. Segundo Bosquilha *et al.* (2013), o método empregado nesse *software* é o D8 (Método das Oito Possíveis Direções de Fluxo), no qual a direção do fluxo de cada pixel do MDE é atribuída de um pixel para um de seus oito vizinhos com base na diferença de nível ponderada pela distância entre eles. Por fim, a cada pixel é aplicado um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis.

c) Obtenção da matriz com acumulação de fluxos (“flow accumulation”), que evidencia o grau de confluência do escoamento;

d) Para a definição da rede de drenagem foi utilizada a ferramenta “Stream Order”. Esta função tem por finalidade extrair, de modo hierárquico, os canais de drenagem. O método de hierarquização da rede de drenagem foi o de Strahler (1957).

e) Visto que a ferramenta “Stream Order” gera uma rede de drenagem que não reflete a realidade

da bacia hidrográfica, faz-se necessário realizar o refinamento da mesma. Por meio do comando “Con”, que limita a hidrografia as drenagens de maior acumulação de água. Utilizou-se a expressão “Value”  $\geq 4$  para o MDE SRTM e “Value”  $\geq 5$  para o MDE ASTER, com a finalidade de eliminar as ordens de drenagem menores do que estes limiares. Estes limiares foram definidos por meio da análise visual das cartas topográficas, buscando definir qual seria mais fidedigno à rede de drenagem da área de estudo, uma vez que limiares diferentes geram respostas de detalhamento diferentes.

f) Por fim, após o refinamento da rede de drenagem, a rede de canais que está na forma de imagem é transformada para a forma vetorial usando a opção “Stream to Feature”.

Para se trabalhar com modelagem hidrológica no *software* QGIS, deve-se trabalhar em ambiente GRASS, com a ferramenta “Árvore de Módulos > Raster > Modelos Espaciais > Modelamento Hidrológico”, de acordo com os seguintes procedimentos:

a) Calcular a área de contribuição acumulada para cada célula: área de contribuição de uma célula é toda a área que drena para aquela célula.

b) Definir as direções de fluxo para cada célula: cada célula possui, por simplificação do programa que trabalha no formato raster (célula e suas vizinhas), oito possíveis direções de fluxo (D8). A direção de fluxo é definida para o vizinho que possui menor declividade.

c) Com base nas direções de fluxo são definidos os segmentos da rede de drenagem.

Todos os passos descritos anteriormente são realizados em uma única janela (r.watershed – Análise de Bacia Hidrográfica), sendo necessário somente nomear cada um dos mapas de saída. Por fim, como os mapas de saída são gerados no formato raster é necessário realizar a conversão dos mesmos para o formato vetorial, usando a seguinte ferramenta: “Árvore de Módulos > Gerenciador de Arquivos > Conversão de Tipo de Mapas > Converte um Raster para Vetor com o GRASS.”

#### 4.3.2 Vetorização Manual das Cartas Topográficas

A vetorização da rede de drenagem foi realizada por meio do *software* ArcGIS 10,

no qual foram vetorizados os cursos d’água da bacia hidrográfica do rio Jordão usando a ferramenta “Edição Vetorial”. Porém, antes desse processo foi necessário realizar o mosaico das cartas topográficas. Esta etapa foi realizada no *software* ArcGIS 10, por intermédio da ferramenta Mosaic To New Raster.

Inicialmente, foram definidos os parâmetros para edição de linhas (Tabela 2), tais como: escala de visualização, sendo esta definida de modo que fosse possível vetorizar de forma precisa os pontos centrais da feição; o modo de vetorização escolhido foi o “Passo a Passo”, que permite criar passo a passo cada um dos pontos que formaram as feições lineares durante o processo de vetorização em tela; edições topológicas foram mantidas de forma automática, de acordo com default do *software*; o parâmetro “tolerância” estabelece em que “distância” o *software* deve reconhecer os “nós”; quanto mais alto o valor, mais tolerante ele será ao juntar linhas. Destaca-se que houve preocupação em manter a escala de visualização constante, de forma a interferir o mínimo possível na análise visual e definição da rede de drenagem.

Tabela 2: Valores para Edição Topológica

PARÂMETRO	VALOR
Escala de Visualização (em tela)	1: 3304
Modo	Passo a Passo
Topologia	Automática
Tolerância	0.1 mm

#### 4.3.3 Classificação da Vetorização Manual das Cartas Topográficas

A verificação do produto obtido via vetorização manual da rede de drenagem foi feita por meio do *software* GEOPEC, estando este de acordo com o PEC (BRASIL, 1984). Para as análises, foram utilizados 90 pontos de controle (Figura 2). As coordenadas da vetorização foram comparadas com as coordenadas de referência, obtidos de cartas topográficas.

Foi analisada a tendência da vetorização, sendo esta, de acordo com Santos (2010), necessária para verificar a existência de erros sistemáticos, bem como para inferir a acurácia do produto espacial. Estas análises foram realizadas

usando o teste de hipótese de Student (Teste t), ao nível 90% de confiança. Deve-se lembrar de que em casos nos quais é detectada a existência de tendência, esta pode ser eliminada da amostra.

A análise da acurácia posicional foi baseada no método de Qui-Quadrado. Segundo Santos (2010), nesse método é testado se a variância dos resíduos é estatisticamente igual à variância estabelecida pelo Decreto-Lei 89.817/84, compatível com os valores do Erro Padrão (EP) para cada classe A+, A, B ou C. Portanto, para a escala das cartas topográficas (1:100.000) o produto foi classificado de acordo com a classe A+.

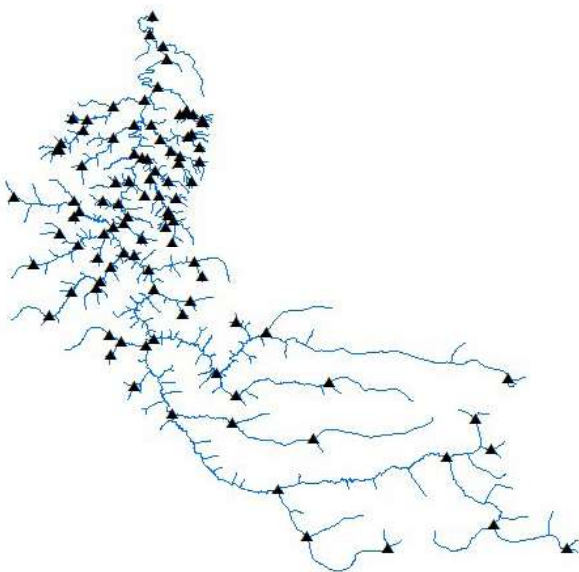


Fig. 2 – Pontos de Controle para classificação da vetorização manual das cartas topográficas

#### 4.3.4 Aplicação dos Algoritmos de Generalização Cartográfica

A análise de similaridades entre as redes de drenagem extraídas manualmente e de forma automática foi feita por meio de amostras dos principais trechos da drenagem que compõem a bacia hidrográfica do rio Jordão, ou seja, os canais de maior ordem.

Em seguida, a aplicação e análise dos algoritmos de generalização cartográfica, foram feitas sobre as redes de drenagem extraídas de forma automática e manual. Esta etapa foi baseada nos algoritmos de simplificação e suavização. O algoritmo de simplificação usado foi o Douglas-Peucker, proposto por Douglas & Peucker, (1973), e o algoritmo utilizado para suavização das feições lineares foi o PAEK (Polynomial Approximation with Exponential Kernel), proposto por ESRI

(2017), ambos disponíveis no *software* ArcGIS e que apresentam melhores resultados, segundo um estudo realizado por Vasconcelos & Sá (2012).

Para aplicação desses algoritmos é preciso estabelecer uma tolerância. Esta tolerância deve se relacionar com a escala em que se pretende reduzir o mapa. Assim sendo, foi definida a seguinte tolerância: o fator de acuidade visual (0,2 mm) multiplicado pela escala de redução (SANTIL, 2008; TAURA *et al.*, 2010).

Assim, foi analisado como estes algoritmos se adaptam às feições da rede de drenagem concomitantemente com mudanças de escala. Sendo feitas as seguintes mudanças de escala: para o MDE ASTER foram testadas as escalas 1:250.000 e 1:500.000 e para o MDE SRTM foi verificada somente a escala 1:500.000. Para a execução dos procedimentos descritos anteriormente, utilizou-se a ferramenta Cartography Tools > Generalization, disponível no *software* ArcGIS 10.

#### 4.3.5 Avaliação da acurácia posicional

Santos *et al.* (2015) descreveram metodologicamente a aplicação de alguns métodos para avaliação da acurácia posicional planimétrica usando feições lineares. No estudo, os autores aplicaram os métodos da Banda Épsilon, *Buffer* Simples, *Buffer* Duplo, Distância de Hausdorff e da Influência do Vértice com o objetivo de avaliar acurácia planimétrica de uma ortomagem Ikonos, através de linhas homólogas, tais como estradas e rodovias. Para isso, teve-se por base o Decreto-lei nº 89.817 (BRASIL, 1984) e a ET-ADGV (DSG-CONCAR, 2016).

Diante do exposto, para a avaliação da acurácia posicional dos produtos gerados nesse trabalho foi utilizado o método do *Buffer* Duplo. Segundo Santos *et al.* (2016), este método consiste na aplicação de uma faixa de incerteza ao redor das redes de drenagem usadas como referência e das redes a serem testadas (Figura 3).

Portanto, de acordo com a metodologia proposta por Santos *et al.* (2015), para se avaliar um produto com o padrão do PEC-PCD, é necessário que se obedeça às seguintes condições: noventa por cento (90% ou  $1,6449 \cdot EP$ ) dos erros das amostras coletados no produto cartográfico, quando comparados com produtos de referências, devem apresentar valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD e, ainda, o RMS (Root Mean Square) das discrepâncias deve ser igual ou inferior ao EP definido pelo PEC-PCD.

Nesta pesquisa, a feição de referência é

aquela extraída por vetorização manual de cartas topográficas, e as feições a serem testadas foram aquelas extraídas automaticamente dos MDEs. Em seguida, foi possível mensurar a discrepância entre as feições, por meio da interseção entre os *buffers*.



Fig. 3 – Método do *Buffer Duplo* para acurácia posicional. Fonte: Santos *et al.* (2015).

Segundo a metodologia proposta por Santos *et al.* (2015) a aplicação do método do *Buffer Duplo* demanda as seguintes etapas: a) Seleção das feições de teste e de referência; b) Aplicar um *buffer* de tamanho *x* em cada linha *i* da amostra de linhas homólogas de teste e referência. Para rotulação dos produtos gerados nesse trabalho, quanto ao Decreto-lei nº 89.817 (BRASIL, 1984), é necessário a seguinte adaptação de sua condição original: o tamanho do *buffer* deve ser equivalente ao valor do PEC para a escala e classe do processo de avaliação (Tabela 3).

Tabela 3: Largura do *Buffer* de acordo com o PEC-PCD

PEC (mm)	CLASSES	ESCALAS	
		1:250.000	1:500.000
0,28	A	70 m	140 m
0,50	B	125 m	250 m
0,80	C	200 m	400 m
1,00	D	250 m	500 m

- c) Cálculo da área *AT* referente à área do *buffer* em cada linha *i* teste;
- d) Fazer uma sobreposição entre os polígonos gerados pelos *buffers* da linha *i* teste e da linha de referência e calcular o valor de *AF*, referente à área do polígono de referência que não faz interseção ao polígono teste;
- e) Cálculo da discrepância média (*dm*), para cada linha teste *i*, com base na Equação 1:

$$dm = \pi * x * \left( \frac{\sum AF_i}{AT_i} \right) \quad (1)$$

f) Após o cálculo das discrepâncias médias é necessário detectar a presença de *outliers*. Esta etapa é feita através do gráfico *BoxPlot*. Esse gráfico é utilizado para avaliar a distribuição de um conjunto de dados, de modo a fornecer informações referentes a presença ou não de valores atípicos. Para confecção desse gráfico são necessárias cinco medidas estatísticas: mínimo, máximo, mediana, primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3). A posição central (*dq*) é dada pela mediana (Equação 2) e a dispersão pelo chamado desvio interquartilício.

$$dq = Q3 - Q1 \quad (2)$$

Por fim, para a determinação de *outliers* utilizam-se os limiares inferior (LI) e superior (LS), calculados pelas Equações 3 e 4.

$$LI = Q3 - 1,5 * dq \quad (3)$$

$$LS = Q3 + 1,5 * dq \quad (4)$$

g) Verificar a independência e normalidade e, se constatada, faz-se a análise se 90% das linhas testadas apresentam discrepância média (*dm*) menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizados para gerar o *buffer x*);

O teste de normalidade usado foi o mesmo utilizado por Santos *et al.* (2016), sendo este o teste de Shapiro – Wilk. Segundo Lopes *et al.* (2013), este teste fornece o parâmetro valor de prova (valor-p ou p-value), que é entendido como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H0). Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula pode ser aceita. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é normal ou não é definida como: se valor-p ≤ 0,05, rejeita-se H0, ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição normal; se valor-p > 0,05, não se rejeita H0, ou seja, os dados possivelmente seguem uma distribuição normal. Ressalta-se que este processo foi realizado através do *software* Excel – Módulo Action Stat.

h) Verificação do RMS das discrepâncias médias, isto é, verificar se esta medida é menor ou igual ao valor do EP para a escala e classe em teste. Se as duas condições forem aceitas, classifica-se o

produto cartográfico de acordo com a classe e as escalas avaliadas.

Desse modo, torna-se possível determinar em qual classe, segundo as premissas estabelecidas pelo PEC - PCD, os produtos gerados se adaptaram.

## 5. RESULTADOS

Para uma melhor discussão, os resultados foram apresentados em quatro tópicos: no primeiro tópico foi apresentada uma discussão acerca da rede de drenagem extraída automaticamente; no segundo, foi realizada uma análise da acurácia posicional da vetorização manual da rede de drenagem; e no terceiro e quarto tópico foram apresentadas, respectivamente, a generalização e análise da acurácia posicional do MDE ASTER e do MDE SRTM.

### 5.1 Análise da rede de drenagem extraída de forma automática

A partir das redes de drenagem extraídas nos *softwares* ArcGIS e QGis, a partir dos MDEs SRTM e ASTER, é possível verificar através de análise visual, que se têm melhores resultados em regiões onde ocorrem maiores variações do relevo, no caso a jusante da bacia hidrográfica. Isto justifica-se, pois algoritmos de extração automática de redes de drenagem se baseiam, principalmente, nas variações de altitude do relevo, ou seja, quanto mais ondulado for o terreno, mais preciso o algoritmo será para reconhecer canais de drenagem.

A rede de drenagem extraída manualmente, para referência, foi gerada a partir da carta topográfica (Figura 4).

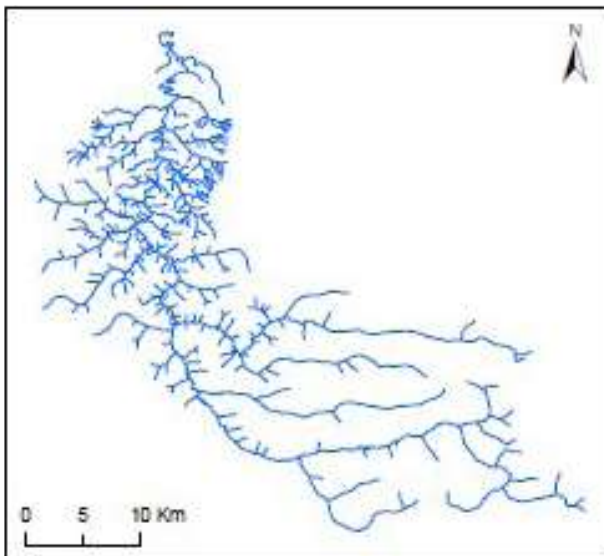
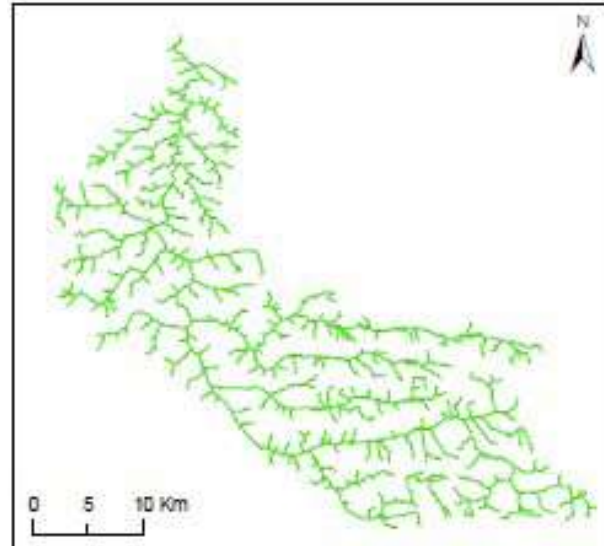
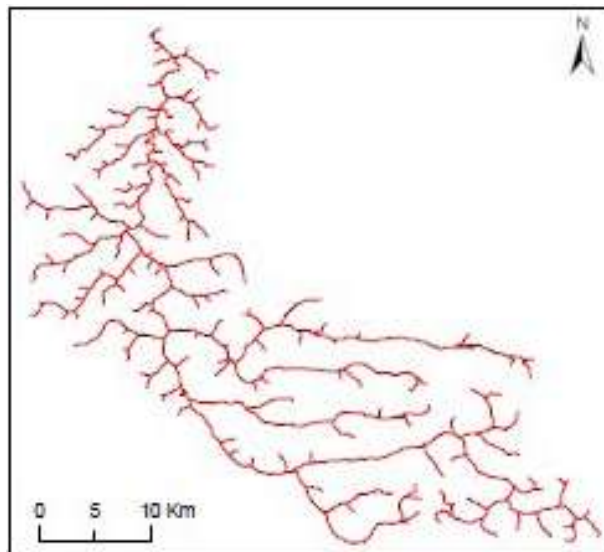


Fig. 4 – Rede de drenagem extraída por vetorização manual da carta topográfica.

Devido à melhor resolução espacial do MDE ASTER, este modelo apresentou uma rede de drenagem mais densa e com melhor traçado quando comparada com a drenagem extraída do MDE SRTM, em ambos os *softwares*. Na Figura 5 são ilustradas as drenagens extraídas usando o *software* ArcGIS.



(a)

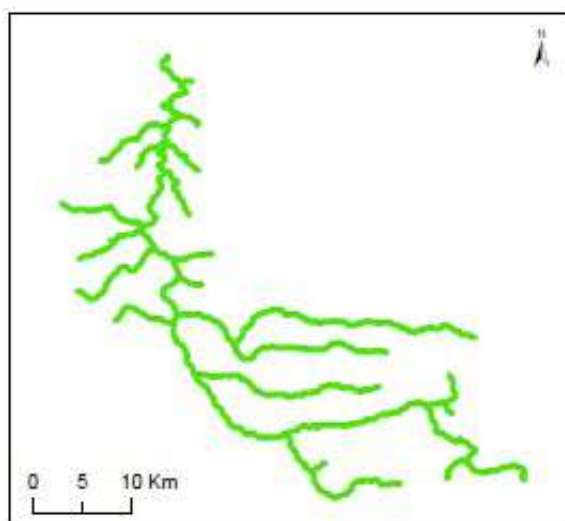


(b)

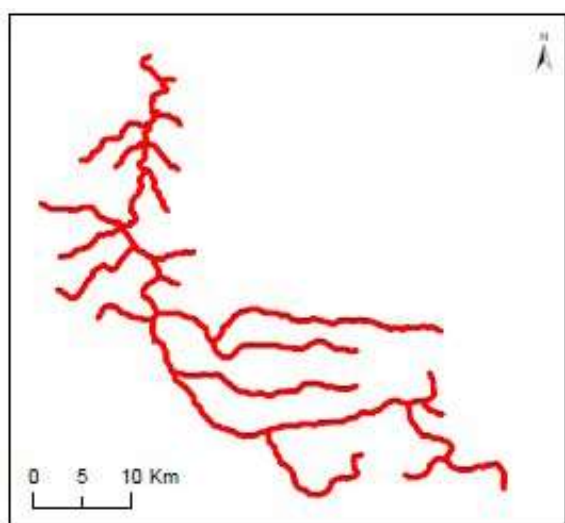
Fig. 5 - Rede de drenagens extraída com o ArcGIS: (a) MDE ASTER (b) MDE SRTM

A rede de drenagem extraída usando o *software* QGis apresentou a mesma quantidade e densidade de canais de fluxos, tanto para o modelo SRTM (Figura 6b) quanto para o modelo ASTER (Figura 6a). A principal divergência está relacionada com o grau de detalhamento da rede de drenagem, uma vez que o MDE ASTER apresentou uma rede de drenagem com maior nível de detalhe.





(a)



(b)

Fig. 6 - Rede de drenagens extraídas com o QGis: (a) MDE ASTER (b) MDE SRTM

As delimitações automáticas da rede hidrográfica, em ambos os *softwares*, divergiram significativamente entre si. Pode-se observar que as redes de drenagens geradas de forma automática apresentaram alguns problemas, principalmente na parte superior da bacia hidrográfica, local onde o relevo é bastante acidentado.

De forma geral, observa-se que, independente do *software* utilizado, ambas as redes de drenagem extraídas possuem boa similaridade quanto ao traçado e canais de fluxos extraídos, não sendo encontradas grandes disparidades em relação ao direcionamento dos fluxos.

## 5.2 Generalização e análise da acurácia posicional da vetorização manual da rede de drenagem

Ao generalizar a rede de drenagem, proveniente de cartas topográficas, para as escalas

1:250.000 e 1:500.000, observou-se que, mesmo em locais com relevo muito acidentado, as feições generalizadas preservaram suas características e legibilidades originais (Figura 7).

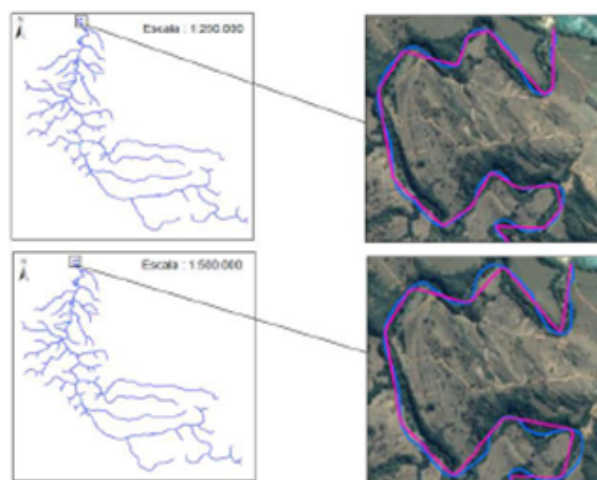


Fig. 7 - Comparação entre escalas de generalização.

Por outro lado, em locais em que a drenagem possui aspecto linear, percebe-se que não ocorreram grandes variações ao se reduzir da escala de 1:250.000 para 1:500.000 (Figura 8).

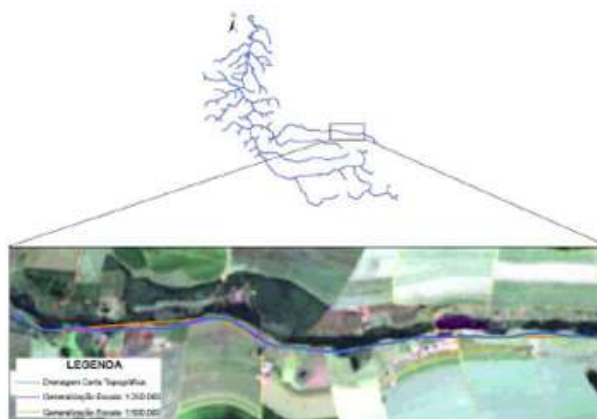


Fig. 8 - Análise em trecho linear da rede de drenagem.

A partir das figuras 7 e 8, pode-se inferir que, após a feição passar pelo processo de simplificação, locais em que há maior variação do relevo sofreram perdas de mais pontos do que em locais nos quais a drenagem apresenta perfil retilíneo. Isso se deve ao fato de que a representação de “objetos curvos”, em ambiente digital, demanda utilização de maior quantidade de pontos se comparados com objetos retilíneos.

Para aplicação do método do *Buffer* Duplo para avaliação da generalização cartográfica da rede drenagem derivada de vetorização manual, nas escalas de 1:250.000 e 1:500.000, foram utilizadas as tolerâncias de 50 m e 100 m, respecti-

vamente. Após detecção das discrepâncias posicionais planimétricas para estas escalas, foi aplicada a detecção de *outliers* através do gráfico *BoxPlot*, não sendo encontrado nenhum outlier para estas escalas.

Em seguida, foi avaliado se as discrepâncias médias seguem uma distribuição normal, para isso foi aplicado o teste Shapiro – Wilk, sendo constatado que ao nível de significância de 95% os dados seguem uma distribuição normal. A partir disso, foi possível determinar em qual classe as escalas em teste se enquadram de acordo com o PEC-PCD.

Nesse sentido, a Tabela 4 apresenta o resultado da avaliação da acurácia posicional de acordo com a escala em teste. É possível verificar que para ambas as escalas em teste, não foram encontrados *outliers* entres as amostras. Logo, para as 57 amostras utilizadas, todas apresentaram discrepâncias médias inferiores ao valor do PEC-PCD. Portanto, os produtos gerados da vetorização manual das cartas topográficas para as escalas 1:250.00 e 1:500.000 foram classificados na classe A.

Tabela 4: Resultado da avaliação da acurácia posicional

	1: 250.000	1: 500.000
<i>Outliers</i>	Não	Não
Amostras	57	57
RMS (m)	21,640	44,064
%(dm<PEC)	100%	100%
RMS<PEC	Sim	Sim
Classificação	Classe A	Classe A

### 5.3 Generalização e análise da acurácia posicional do MDE ASTER

Após a redução da rede de drenagem, extraída a partir do MDE ASTER, para as escalas 1:250.000 e 1:500.000, notou-se que, em muitos trechos das feições em teste, a drenagem apresentou aspecto sinuoso e com grandes variações para pequenas distâncias, porém permanecendo com suas características originais.

Por sua vez, as maiores concordâncias, de forma geral, entre a rede de drenagem em teste e a de referência, após generalização cartográfica,

ocorreram nas partes mais baixas e planas da bacia hidrográfica. Porém, as maiores diferenças, no aspecto das feições, estão nas áreas em que a bacia possui maior declividade, tanto para a escala 1:250.000 (Figura 9a e 9b) quanto para a escala 1:500.000 (Figura 10a e 10b).

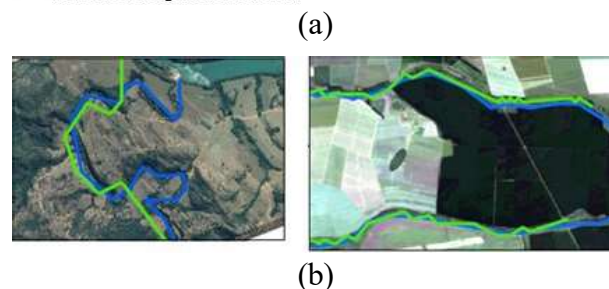
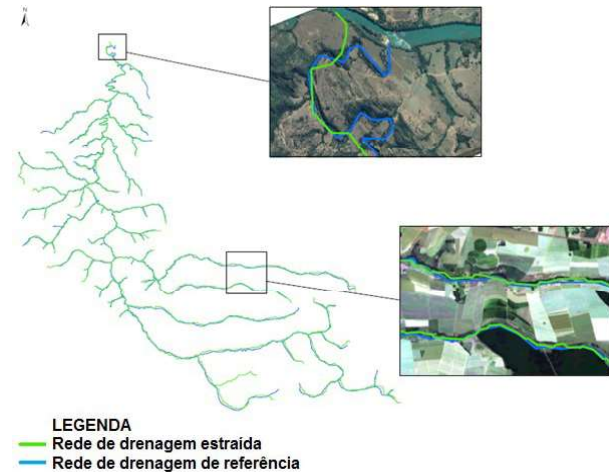


Fig. 9 - Generalização da rede de drenagem na escala 1:250.000: a) no ArcGIS e b) no QGIS

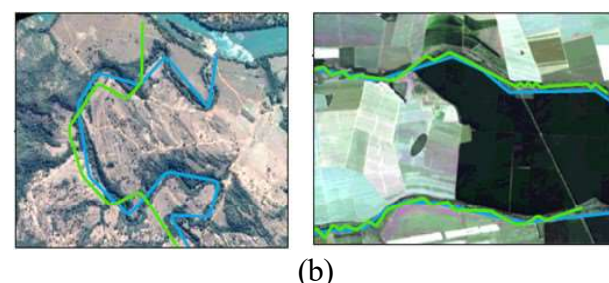
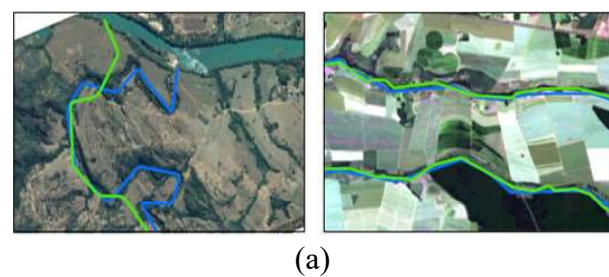


Fig. 10 - Generalização da rede de drenagem na escala 1:500.000: a) no ArcGIS e b) QGIS.

As maiores diferenças encontradas em relação a escala e ao *software* utilizado para extração de drenagem, pode-se mencionar que: o *software* QGIS apresenta a rede de drenagem

extraída com quantidade e dimensões menores de cursos hídricos do que aqueles encontrados na rede de drenagem de referência se comparada com a obtida via ArcGIS. Efetuando-se a sobreposição dessas redes com a de referência percebe-se uma “compatibilidade visual” entre a rede obtida pelo ArcGIS e a de referência.

O experimento para aplicação do *Buffer Duplo* sobre o MDE ASTER foi feito nos *softwares* ArcGIS e QGis para as escalas 1:250.000 e 1:500.000, com tolerância de 50m e 100 m, respectivamente. No ArcGIS, para a escala 1:250.000, foram testadas as classes A, B e C. Para esta escala, a rede de drenagem foi compatível com a Classe C. Por sua vez, no QGis, para esta mesma escala, foram testadas as classes A, B, C e D. Com este *software*, a rede de drenagem foi classificada na classe D.

Para a escala 1:500.000, usando o ArcGIS, foram testadas as classes A e B, sendo a rede de drenagem enquadrada nesta última classe. No *software* QGis, igualmente no caso anterior, mas agora na escala 1:500.000, também foram testadas as classes A, B, C e D, observando que a rede de drenagem foi compatível com a classe D.

Para alcance dos resultados citados anteriormente, para cada classe testada foi aplicado um *buffer*, nas feições de teste e referência, de tamanho/largura compatível com o valor do PEC. Após a aplicação do *buffer*, foram calculadas as discrepâncias posicionais para as amostras de trechos de rede de drenagem e, em seguida, foi aplicada a detecção de *outliers*. No ArcGIS foram identificados três e cinco *outliers* para as escalas 1:250.000 e 1:500.000, respectivamente. Usando o QGis, por sua vez, encontrou-se o mesmo número de *outliers* para as mesmas escalas. Posteriormente, o teste de normalidade Shapiro – Wilk, ao nível de 5% de significância, indicou que, para ambos os *softwares*, as amostras das escalas em teste seguem uma distribuição normal, uma vez que p-valor > 0,05.

A Tabela 5 apresenta o resultado da avaliação da acurácia posicional do MDE ASTER para os *softwares* ArcGIS e QGis. Como mais de 90% das discrepâncias médias posicionais (dm) são menores do que o valor do PEC estabelecido para as classes e escalas em teste e o RMS das discrepâncias médias (dm), são menores do que o EP estabelecido para a classe em teste, a rede de drenagem extraída, usando

o MDE ASTER, na escala de 1:250.000, foi classificada como de Classe C, usando o *software* ArcGIS, e classe D, usando o *software* QGis. Para a escala 1:500.000, no *software* ArcGIS, a rede de drenagem foi classificada como de Classe B; no QGis foi classificada como classe D.

Tabela 5: Avaliação MDE ASTER

	ArcGIS		QGis	
	1:250.000	1:500.000	1:250.000	1:500.000
<i>Outliers</i>	Sim	Sim	Sim	Sim
Amostras	54	52	26	25
RMS (m)	123,97	126,51	198,96	333,58
%(dm<PEC)	92%	100%	90%	91%
RMS<PEC	Sim	Sim	Sim	Sim
Classificação	C	B	D	D

#### 5.4 Generalização e análise da acurácia posicional do MDE SRTM

No ArcGIS, após extraída a rede de drenagem obtida a partir do MDE SRTM e ser reduzida para a escala 1:500.000, observaram-se expressivas variações em locais nos quais a drenagem possui muitos meandros, quando comparada com a rede de drenagem de referência. Por outro lado, locais nos quais a drenagem apresenta perfil linear, verifica-se a permanência da similaridade e, conseqüentemente, adequação entre a rede de drenagem extraída de forma automática e àquela extraída manualmente (Figura 11a). Esses resultados mostram-se coerentes, pois os locais nos quais a drenagem possui variações há mais pontos para serem reduzidos, visto que é necessária uma quantidade maior de pontos para compor a feição, diferente do que ocorre em drenagens com perfil retilíneo.

Por outro lado, no *software* QGis, da mesma forma que ocorreu na escala 1:250.000, as maiores diferenças encontradas na rede de drenagem extraída por esse *software* estão relacionadas com o tamanho dos cursos hídricos extraídos. É possível observar o notório nível de generalização da rede de drenagem na região da foz do rio Jordão. Porém, em locais em que a rede de drenagem apresenta perfil retilíneo os cursos d’água apresentam compatibilidade em relação ao traçado quando comparada com a rede de drenagem tida por referência (Figura 11b).

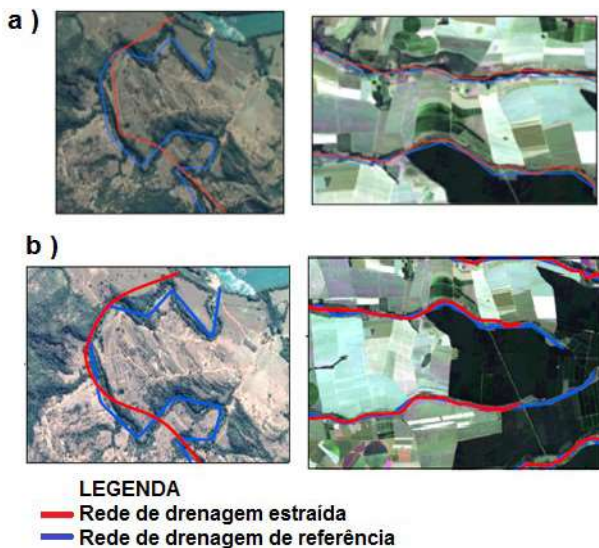


Fig. 11 - Análise da drenagem obtida no MDE SRTM: a) no ArcGIS e b) no QGIS.

Com a aplicação do *Buffer Duplo*, para avaliação do MDE SRTM, testou-se a escala de 1:500.000, com tolerância de 100 m. Usando o ArcGIS verificou-se a compatibilidade da rede de drenagem com a Classe A. Para isso, aplicou-se um *buffer* de 140 m tanto na rede de drenagem de referência quando na rede em teste. Após o cálculo das discrepâncias posicionais para as 57 amostras, aplicou-se a detecção de *outliers* e foram identificados quatro *outliers*. Os pontos identificados como *outliers* foram aqueles que, após a sobreposição do *buffer* da rede de drenagem de referência com o *buffer* da rede de drenagem em teste, apresentaram discrepâncias com áreas superiores a 126,79 m<sup>2</sup>.

No *software* QGIS foram testadas as classes A, B e C, constatando que a rede de drenagem ficou inserida nesta última classe. Após o cálculo das discrepâncias posicionais, foram utilizadas 30 amostras para a detecção de *outliers* nas quais foram encontradas sete *outliers*.

Após remoção dos *outliers*, para ambos os *softwares*, o teste de normalidade Shapiro – Wilk, ao nível de 5% de significância, indicou que as amostras seguem uma distribuição normal. Por fim, a Tabela 6 apresenta o resultado da avaliação da acurácia posicional do MDE SRTM. Como mais de 90% das discrepâncias médias posicionais (dm) são menores do que o valor do PEC estabelecido para a classe e escala em teste, e que o RMS das discrepâncias médias (dm) é menor que o EP estabelecido para a classe em teste, a rede de drenagem extraída por meio

do MDE SRTM para a escala de 1:500.000 foi classificada na classe A, usando o ArcGIS, e classe C, usando o QGIS (Tabela 6).

Tabela 6: Avaliação MDE SRTM

	<i>ArcGIS</i>	<i>QGIS</i>
	1:500.000	1:500.000
<i>Outliers</i>	Sim	Sim
Amostras	53	23
RMS (m)	64,108	273,388
%(dm<PEC)	100%	91%
RMS<PEC	Sim	Sim
Classificação	Classe A	Classe C

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs avaliar o potencial de MDEs para a extração automática de redes de drenagem, a partir de operadores de generalização cartográfica. Para tanto, foram utilizados os operadores de simplificação e suavização de linhas. Nessa ordem, os operadores de simplificação e suavização de feições lineares tendem a reduzir o número de pontos de uma feição, de modo a simplificar as informações representadas em um mapa e suavizar a aparência dessa feição de modo a torna-la mais “agradável visualmente”.

Tendo por base o estudo de Cámara & López (2008), foram utilizados dois procedimentos distintos, mas que se complementam, um visual e outro analítico, para análise da qualidade dos produtos gerados pela generalização de feições lineares. O primeiro foi feito com base na carta topográfica, visualmente, e o segundo com base nos limiares propostos pela PEC-PCD. A rede de drenagem foi a feição escolhida para generalização cartográfica, pois esta é uma das feições mais complexas para o mapeamento, principalmente no que diz respeito a sua forma de obtenção. Atualmente, as drenagens são obtidas através de algoritmos de extração automática e de MDEs que, comumente, não passam por um processo de verificação, avaliação e tratamento.

Para a generalização cartográfica foi necessário estabelecer uma tolerância que se relacionasse com a escala em que se pretendia reduzir o mapa. Para tanto, foi relacionado o fator de acuidade visual com a escala de redução.

Apesar dos resultados terem sido satisfatórios, recomenda-se que sejam feitos outros testes com outros valores de tolerância, visto que esta etapa ainda é subjetiva.

A simplificação das feições foi realizada usando o algoritmo Point-Remove, que é uma adaptação do algoritmo Douglas-Peucker. O algoritmo utilizado para suavização foi o PAEK. De modo geral, as transformações de escala de 1:250.000 para 1:500.000, nos MDEs ASTER e SRTM, mostraram-se adequados uma vez que em muitos locais foram mantidas as condições originais da rede de drenagem, concordando com o trabalho de Bortolini *et al.* (2014), embora seu objeto de estudo tenha sido a malha urbana.

Nesse estudo, destaca-se que a forma do relevo e a resolução espacial dos MDEs são características fundamentais para o entendimento da rede de drenagem e, conseqüentemente, de sua generalização. Como se sabe, a escala de análise traduz os propósitos da investigação e das possibilidades ou limitações na interpretação dos resultados, então, seria interessante novos estudos com relação a declividade e a resolução espacial com áreas que apresentam diferentes uso e ocupações do solo, por exemplo.

O MDE ASTER foi o que apresentou os piores resultados, quando comparado com o MDE SRTM, visto que apesar da sua melhor resolução espacial, este apresenta ruídos oriundos do processamento automático das imagens ópticas, com baixa correlação com a superfície morfológica presente em outros MDEs, como o SRTM, concordando com os estudos de Biffi *et al.* (2013) e Grohmann (2015).

Os resultados atendem às especificações de qualidade cartográfica estabelecida pelo PEC-PCD para as escalas e classes testadas. Contudo, é preciso destacar que usando os parâmetros supracitados, a rede de drenagem extraída no ArcGIS possui resultados mais confiáveis, em função da classificação do PEC.

Verifica-se a importância de não somente confiar no *software* e em seus resultados, para que se possa assegurar confiabilidade, neste caso semântica e posicional, do produto gerado, mas compreender e identificar os objetivos da generalização cartográfica em ambiente digital de modo a trazer a qualidade da informação compatível com os propósitos de seu estudo.

De forma geral, os resultados alcançados permitem inferir sobre algumas potencialidades cartográficas dos MDEs. Contudo, para outras aplicações podem ser requeridos níveis de precisão e exatidão não alcançados com os MDEs ASTER e SRTM (LANDAU & GUIMARÃES, 2011).

Em Cavassim Júnior *et al.* (2005), por exemplo, foi mostrado que o MDE gerado com dados Laser Scanner apresenta qualidade posicional para escala de 1:6000, com grandes detalhes, porém devem ser levados em consideração o propósito, que é totalmente diferente, como o alto custo dos dados.

No entendimento básico das variações topográficas de um terreno, ambos os MDEs em estudo atenderiam nas escalas analisadas, mas, para estudos geomorfológicos, e em escalas maiores, não seria possível identificar detalhes de feições e/ou fenômenos como apontado por Centeno & Mitishita (2007) e Tomazoni *et al.* (2011), que descrevem, respectivamente, que os dados Laser Scanner e SRTM não permitem a localização exata dos rios, quando cobertos por matas ciliares, devido a interferência dessa vegetação na altitude local.

Por fim, para melhores resultados, recomenda-se que sejam testadas metodologias de refinamento de modelos digitais de elevação com o propósito de minimizar as suas inconsistências. Ainda, sugere-se que sejam investigados os algoritmos de modelagem hidrológica desses e de outros *softwares* para que se possam entender as divergências de um algoritmo para outro.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), concedida para o desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTER – **Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer**. Califórnia. Disponível em: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>. Acesso em: Ago. 2017.

BIFFI, J. L.; JARENKOW, L. G.; FRANCHINI, R. L.; VIEIRA, R. M.; RAFAELI NETO, S. L.; CORDEIRO, M. T. A. Comparação de modelos digitais de elevação de SRTM e ASTER com

- modelo de grande escala do município de Lages – SC. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais.** INPE, 2013, p.4647-4652.
- BORTOLINI, E.; SANTOS, D. R.; SLUTER, C. R. Proposta de Generalização Cartográfica automática: um estudo de caso para arruamento. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 27, 2014, Gramado/RS. **Anais...** CBC, 2014. p.001-011.
- BOSQUILA, R.W.D.; FIORIO, P.R.; BARROS, P.P. da S.; MARTINS, J.A.; DUARTE, S.N. Comparação entre modelos de mapeamento automático de drenagens usando SIG. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** INPE, 2013, p.5872-5879.
- BRASIL. Decreto N° 89.817, de 20 de Junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1984.
- CÂMARA, M. A. U.; LÓPEZ, F. J. A. Semiautomatic urban map generalization using a raster-vectors model. **International Review of Geographical Information Science and Technology.** n.8, p.225-250, 2008.
- CAVASSIM JÚNIOR, I.; CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. Utilização de Dados do Varredor Laser na Cartografia Urbana. **Boletim de Ciências Geodésicas,** Curitiba, v.11, n. 2, p.201-219, 2005.
- CENTENO, J. A. S.; KISHI, R.T.; MITISHITA, E. A. Aplicação de laser scanner para detecção de áreas para coleta de água de chuva. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** INPE, 2009, p.5009-5013.
- CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. Laser Scanner Aerotransportado no Estudo de Áreas Urbanas: A Experiência da UFPR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** INPE, 2007, p.3645-3652.
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais Mapeamento Geológico de Minas Gerais. [online]. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acessado em: 02 de janeiro de 2017.
- DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **The Canadian Cartographer,** v.10, n.2, p.112-122, 1973.
- DSG-CONCAR - **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).** Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, 02 de Maio de 2016. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/>.
- ESRI** - Technical paper, Inc., **Automation of Map Generalization: The Cutting-Edge Technology,** 1996. Disponível em: [http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao\\_mapgen.pdf](http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_mapgen.pdf). Acesso em: 02 de janeiro de 2017. p.001-012.
- FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA, G. **Modelagem Numérica de Terreno.** In: CÂMARA, G.; DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da Geoinformação. [online]. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acessado em: 02 de janeiro de 2017. p.01-36.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de Cartas. In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2, 1994, Florianópolis. **Anais...** COBRAC, Florianópolis, 1994, p.41-48.
- GROHMANN, C.H. Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** INPE, 2015 p.5726-5732.
- LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** INPE, 2011, p.4003-4010.
- LOPES, M. de M.; BRANCO, V. T. F. C.; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Revista Transportes,** ANPET, v.21, n.1, p.59-66, 2013.

- NYANGWESO, D. N.; NJOROGI, T. M.; SIRIBA, D. N. Cartographic Generalization in Multi-scale Environment: case study of Lamu County, Kenya. **International Journal of Science and Research**, Delhi, vol. 5, p.804-813, 2016.
- SALLA, M. R.; PEREIRA, C. E.; ALAMI FILHO, J. E.; PAULA, L. M.; PINHEIRO, A. M. Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.2, abr/jun 2013, p.105-114.
- SANTIL, F. L. P. **Análise da percepção das variáveis visuais de acordo com as leis da Gestalt para representação cartográfica**. 2008. 175f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SANTOS, A. de P. dos. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com o uso da estatística espacial**. 2010. 128f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- SANTOS, A. de P. dos. **Controle da Qualidade Cartográfica: Metodologias para Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais**. 2015. 188f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- SANTOS, A. de P. dos.; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R. dos.; RODRIGUES, D. D. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.22, n° 1, p.157-174, 2016.
- SRTM** – Shuttle Radar Topography Mission. Califórnia. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso: Ago. de 2017.
- STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**. v.38, n° 6, p.913-920, 1957.
- TAURA, T. A.; SLUTER, C. R.; FIRKOWSKI, H. Generalização cartográfica das cartas do mapeamento urbana nas escalas 1: 2000, 1:5000 e 1:10000. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, vol. 16, n. 3, p.386-402, 2010.
- TRIUMPHO, D. B. da SILVA. **Análise da Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo - MG**. 2015, 63f. Monografia, Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. GOMES, T. C.; SILVA, T. G. da. Uso de Modelo Digital de Elevação Gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para caracterização de rede de drenagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.2, p.365-376, 2011.
- VASCONCELOS, T. L.; SÁ, L. A. C. M. Generalização Cartográfica de Feições Lineares. **Anais... IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p.001-008.