



**Comparação e Análise de Redes de Drenagem Geradas
Através de Modelos Digitais de Superfície na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso**
Comparison And Analysis Of Drainage Networks
Generated Through Digital Surface Models In Formoso River Watershed

Luciana Escalante Pereira¹; César Claudio Cáceres Encina¹;
Eliane Guaraldo¹; Antonio Conceição Paranhos Filho¹ & Giancarlo Lastoria²

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Laboratório de Geoprocessamento para Aplicação Ambiental,
Cidade Universitária, Unidade 7A. 78720-100. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

²Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. 78720-100. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mails: l.escalante.pereira@gmail.com; ccaceres.encina@gmail.com;
arq.artes@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br; g.lastoria@ufms.br

Recebido em: 22/05/2019 Aprovado em: 10/06/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_311_320

Resumo

O uso de Modelos Digitais de Superfície (MDS) tornou-se uma forma rápida de geração de dados e informações em análises ambientais. Entretanto, nem sempre são consideradas as particularidades e a adequabilidade do produto utilizado. Considerando isto, foram utilizados três modelos digitais de superfície (ASTER-GDEM, TOPODATA E SRTM-4) para a realização do processo de extração automática de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Formoso. A bacia hidrográfica está inserida quase que totalmente no Município de Bonito, Estado de Mato Grosso do Sul. A rede de drenagem extraída de cada MDS foi comparada à malha hidrográfica que foi obtida através de fotointerpretação, sendo analisados aspectos como hierarquia fluvial e influência do dossel vegetal sobre os dados gerados. Os MDS mostraram-se mais suscetíveis à imprecisão em regiões de mata de galeria, onde o dossel vegetal impede que as ondas de radar cheguem ao solo. Devido à influência da vegetação, houve trechos onde as linhas geradas na extração automática foram processadas a uma distância superior a 1000m do real curso d'água, sendo essa distância visível até mesmo em uma escala de 1:450.000. Esta diferença faz com que sejam gerados vetores que não atendem nem mesmo a classe D dos produtos PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica – Produtos Cartográficos Digitais). Os MDS também divergem em relação a hierarquia fluvial, onde canais de 1ª ordem variam em quantidade conforme o MDS utilizado.

Palavras-chave: Rio Formoso; efeito dossel; hierarquia fluvial; escala

Abstract

The use of Digital Surface Models (DSMs) has become a fast way of generating data and information in environmental analyzes. However, the particularities and suitability of the product used are not always considered. Considering this, three digital surface models (ASTER-GDEM, TOPODATA AND SRTM-4) were used to perform the process of automatic drainage extraction of the Formoso River Basin. The hydrographic basin is almost totally inserted in the Municipality of Bonito, State of Mato Grosso do Sul. The drainage network extracted from each DSM was compared to the hydrographic network that was obtained through photointerpretation, being analyzed aspects such as fluvial hierarchy and influence of the vegetal canopy on the generated data. The DSMs were more susceptible to imprecision in gallery forest regions, where the vegetative canopy prevents the length of radar waves from reaching the ground. Due to the influence of the vegetation, there were parts where the drainage lines processed by the DEMs were more than 1000m from the watercourse; this distance was visible even at 1:450.000 scale. This difference causes vectors to be generated that do not even meet the class D of the PEC-PCD (Cartographic Accuracy Standard - Digital Cartographic Products) products. The MDS also differ in relation to the river hierarchy, where first order channels vary in quantity according to the MDS used.

Keywords: Formoso river; canopy effect; river hierarchy; scale

1 Introdução

Redes de drenagem são a base para a definição de bacias hidrográficas, representando um componente essencial em modelos hidrológicos e planos de gerenciamento de recursos (O' Callaghan & Mark, 1983). Dessa forma, dados de drenagem são importantes para a caracterização e conhecimento do comportamento de uma bacia hidrográfica que no Brasil representam a unidade básica de planejamento e gestão, de acordo a Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei nº9.433, Brasil, 1997).

A partir da rede de drenagem é possível gerar outros dados hidrológicos, como a caracterização dos tipos de canais fluviais, o arranjo estrutural, densidade de drenagem, a hierarquia da rede fluvial, a identificação de padrões e anomalias de drenagem, entre outros. Em estudos de análise ambiental que envolvem a caracterização da rede de drenagem em bacias hidrográficas, a aplicação e uso de dados provenientes de sensoriamento remoto, como é o caso dos Modelos Digitais, tornou-se uma prática frequente.

Esta situação de uso é ocasionada pela facilidade e praticidade em gerar produtos que as ferramentas de geotecnologias proporcionam. Como aponta Silva (2003), “os processadores estão ficando cada vez mais rápidos e os custos de processamento estão diminuindo, o que colabora para a disseminação da geotecnologia”. Além disso, a utilização de ferramentas que abrangem as geotecnologias vem se consagrando como um meio de buscar novas investigações para as diversas situações, gerando novas aplicações e possibilitando uma maior precisão nas análises (IBGE, 2009). Entretanto, a eficácia do uso e aplicação de um dado gerado automaticamente está subordinada a interpretação por parte do analista. Além da capacidade de interpretação, outros fatores podem interferir e gerar limitações no uso de produtos e dados de sensoriamento remoto.

Considerando isto e tendo em vista a aplicação do MDS, o objetivo deste trabalho foi analisar o produto gerado por MDS em três situações: influência do dossel vegetal, escala de representação e hierarquização fluvial.

2 Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, no Município de Bonito (Figura 1).

O rio Formoso é o principal curso d'água da BHRF, além de ser um dos mais importantes cursos d'água para os atrativos turísticos da região. A malha hidrográfica da BHRF está totalmente inserida no município de Bonito, apesar dos limites da bacia ultrapassarem os seus limites administrativos.

A malha hidrográfica da BHRF foi mapeada através de imagens do satélite Landsat-7, banda pancromática (15m de resolução espacial). Dessa forma, foi possível usar a malha hidrográfica gerada através de interpretação visual, que possui um maior nível de precisão, como base para a análise da rede de drenagem gerada automaticamente. A malha hidrográfica utilizada atende a um padrão Classe A no Padrão de Exatidão Cartográfica, podendo ser enquadrada na escala 1:50.000, considerando a resolução espacial da imagem e que o erro do georreferenciamento foi no máximo de 1 pixel (15m) (Teruya *et al.*, 2016).

3 Materiais e Métodos

3.1 Descrição dos Modelos Digitais de Superfície (MDS)

Quando as cotas de elevação provêm de pontos localizados na superfície nua do terreno, tem-se um Modelo Digital de Elevação; quando incorpora valores de elevação das feições naturais e artificiais situadas acima da superfície, tem-se um Modelo Digital de Superfície (Maune *et al.*, 2006, apud TOMÁS *et al.*, 2009). Em vista disso, no âmbito deste trabalho, adotou-se o termo MDS, pois embora sejam comumente descritos como MDE (Modelos Digitais de Elevação), descrevem topos de estruturas físicas (construções- prédios, casas) e vegetação (copas de árvores).

Assim, foram utilizados 3 MDS de diferentes resoluções espaciais para extração da rede de drenagem: *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM-4), *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Elevation Model* (ASTER-GDEM) e TOPODATA. Os dados SRTM

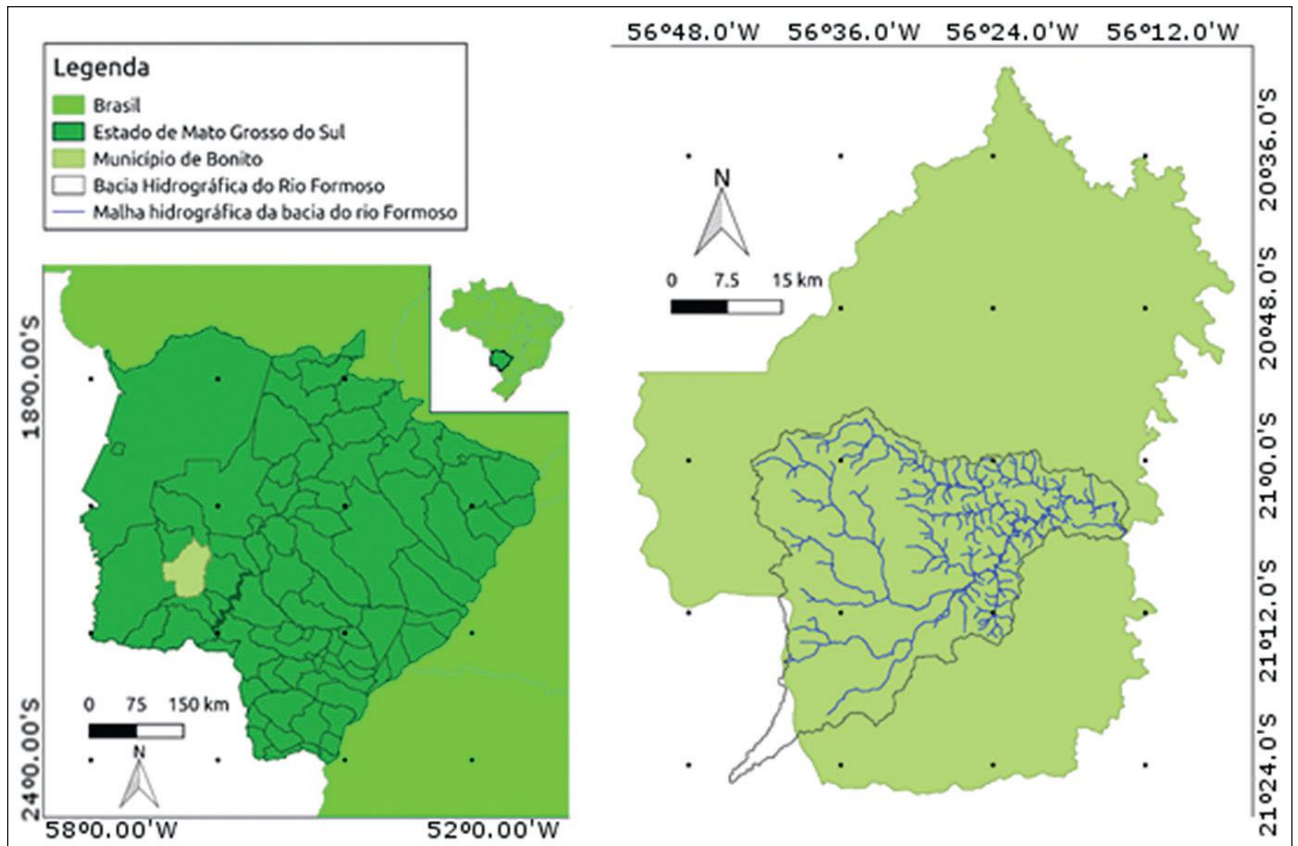


Figura 1 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. O limite da bacia hidrográfica extrapola em pouco o território do município de Bonito, entretanto, toda a malha hidrográfica da bacia encontra-se inserida dentro do município.

foram gerados a partir de sensores orbitais radar, caracterizados como ativos por serem capazes de produzir sua própria energia, podendo ser operante tanto de dia como à noite, não sofrendo influência de dias chuvosos ou nublados. O TOPODATA, trata-se de um produto que consistiu na modificação do SRTM original para um novo MDS, com características desejáveis, entre estas modificações, listam-se: a resolução melhorada, de 1'' (~30m); a remoção das falhas; redução de artefatos; e distribuição da aleatoriedade (Valeriano, 2005).

O ASTER-GDEM foi gerado a partir de imagens de pares estereoscópicos, adquiridos através de um sensor ótico, que sofre com a cobertura de nuvens e não gera imagens em períodos noturnos. Entretanto, não gera voids “ausência de dados” na imagem, como ocorre nos sensores radares. O produto ASTER-GDEM deriva das bandas 3N (Nadir) e 3B (aft-viewing) do conjunto de dados ASTER (Abrams *et al.*, 2002).

O SRTM-4 possui resolução espacial de 90m, enquanto os demais 30m. Com o uso de um produto

de diferente resolução espacial, foi possível observar como a resolução horizontal de um MDS pode ser influenciada pela interferência de fatores externos (vegetação, relevo, etc), além de ajudar a descrever a variação dos dados de acordo o produto utilizado.

A utilização de MDS, ou outros tipos de modelos como o MDE, podem ser verificados em diversos estudos hidrológicos, como é o caso do estudo realizado por de Souza & Almeida (2014) que compararam a influência de diferentes métodos de extração de rede de drenagem no resultado final dos MDEs. Outro exemplo é a pesquisa de Costa *et al.*, (2007) que usou SRTM para comparar os resultados obtidos entre o delimitação automática e caracterização da bacia hidrográfica.

3.2 Desenvolvimento das Análises e Processamento dos Dados

Três critérios foram selecionados para avaliar as redes de drenagem: vegetação, escala de representação e hierarquia fluvial. A vegetação é um alvo

que interfere diretamente nos MDS, pois estes, considera o valor de elevação destas feições. A escala é um fator que influencia na representação dos dados e na perspectiva do analista. Já a hierarquia fluvial é um produto condicionado ao que é gerado na rede de drenagem, e representa um dado importante em análises morfométricas, conforme citado por Vilela Filho & Vitte (2005a). Ela permite tornar mais objetivos os estudos morfométricos das bacias hidrográficas - análise linear, areal e hipsométrica, sendo que um desacerto neste dado pode implicar em maiores erros nos dados gerados.

Para a avaliação dos vetores gerados pelos MDS, as redes de drenagem tiveram suas linhas comparadas as linhas da malha hidrográfica, sendo considerada a posição relativa das linhas. Nesta etapa foi analisada a distância entre as linhas dos diferentes produtos, o tamanho e a forma das linhas, o número de linhas geradas, entre outros.

Os dados foram processados no SIG (Sistema de Informação Geográfica) ARCGIS (ESRI, 2012). Para isto, a extração automática de rede de drenagem foi realizada com uso dos três MDS. O valor de limiar utilizado na extração automática de rede de drenagem está relacionado com a densidade da rede de drenagem que é gerada. A escolha do limiar foi definida com base aproximadamente no mesmo nível de detalhe da malha hidrográfica de referência. O algoritmo de direção de fluxo D8 trabalha com uma variação de ângulo a cada 45°. Com isto, o fluxo de escoamento é direcionado conforme as declividades

mais baixas apresentadas pelos píxeis vizinhos. A Figura 2 ilustra as etapas metodológicas.

4 Resultados e Discussões

4.1 Influência da Vegetação e Escala de Representação

A cobertura vegetal que se situa ao longo dos corpos hídricos e nas nascentes pode influenciar na identificação da drenagem obtida de forma automática. Isto é perceptível ao observar que os MDS foram mais suscetíveis à imprecisão em regiões de mata de galeria, onde a característica da cobertura vegetal impede que o comprimento de ondas do radar chegue ao solo. As matas de galeria ocorrem com maior frequência em corpos hídricos de pequena ordem na hierarquia fluvial, como os córregos por exemplo. Cursos d'água em que a largura do leito excede a área de dossel vegetal geralmente têm matas ciliares em suas margens (Figura 3).

Os MDS em geral foram mais precisos em cursos d'água onde a vegetação corresponde à mata ciliar. Sem a interferência do dossel vegetal, as feições geradas nos trechos de matas ciliares foram mais coerentes com aspectos hídricos do terreno. Para retratar a influência da cobertura vegetal, assim como também da escala de representação dos dados, foram selecionadas 4 regiões da bacia hidrográfica (Figura 4).

Nas quatro regiões destacadas foi possível mensurar a distância entre as linhas (vetores) da rede de drenagem geradas através de cada MDS e o curso d'água (malha hidrográfica). Para isso, foi gerado

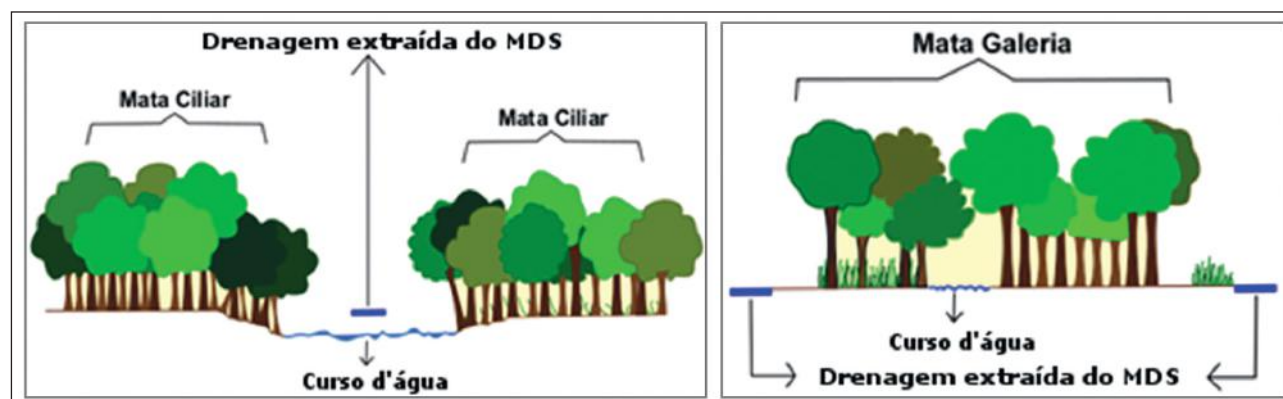


Figura 3 Linhas de escoamento geradas na extração automática de rede de drenagem em regiões com cobertura vegetal. Na mata +, a vegetação fechada impede que o sinal do MDS chegue ao solo, influenciando no produto gerado. Ilustração elaborada no software Inkscape.

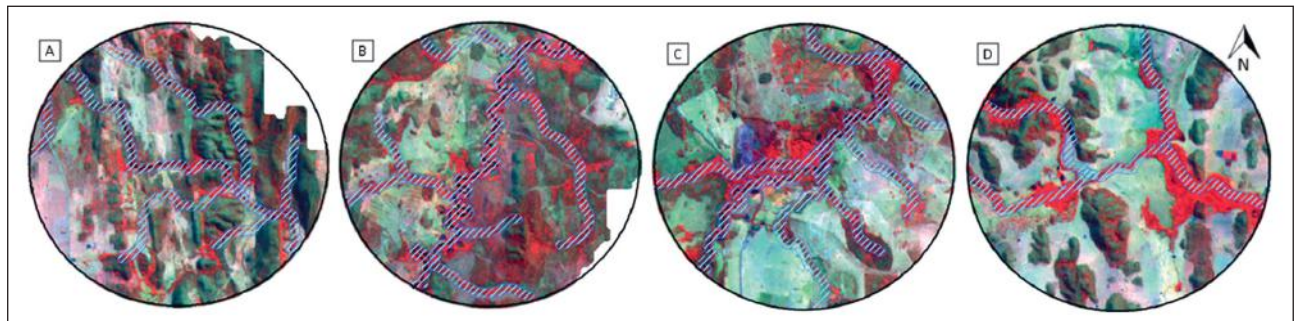


Figura 4 Trechos da BHRF, com *buffer* de 100m sobre a rede hídrica. A: trecho do rio com pouca vegetação. B: trecho sinuoso do rio Formoso. C: trecho do rio Formoso, exibindo alguns pontos onde a mata ciliar é densa e larga. D: trecho de córrego com mata de galeria. Regiões escolhidas pelas características peculiares de cada uma que, afeta o MDS de maneira distinta. Imagem IRS-P6, composição falsa-cor R3G4B2. Escala de visualização de 1:50.000.

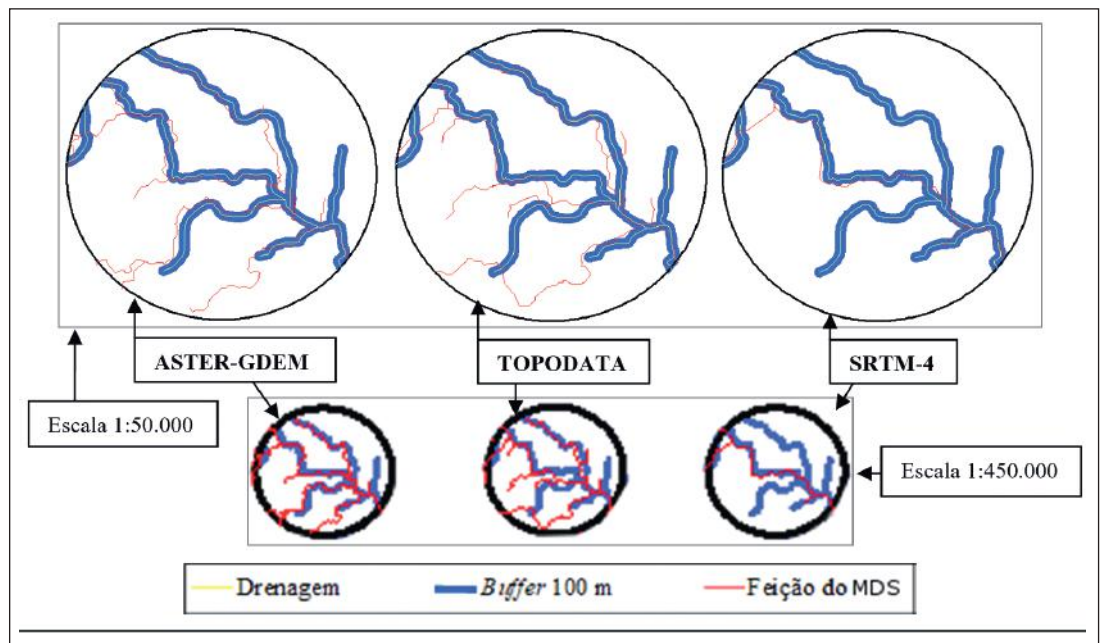
um *buffer* com 100m de raio, sendo possível distinguir a proximidade das feições geradas pelos MDS com a feição da hidrografia na região.

A região A é um trecho do rio Mimoso, selecionado por ser uma região onde os canais hídricos apresentam menor sinuosidade e menores concentrações de área vegetada (Figura 5), o que favoreceu a extração automática da rede de drenagem, sendo o resultado mais compatível com a realidade do terreno. A vegetação no trecho selecionado ocupa uma faixa de pouco mais de 30m de largura ao longo da rede hídrica. Essa largura corresponde ao mínimo exigido pela Lei 12.651 (Brasil, 2012).

Alguns trechos da área de estudo visualizados em uma escala de 1:50.000 exibiram desvio planimétrico maior que 100m em relação ao curso d'água, o mesmo desvio não foi passível de visualização na escala 1:450.000. Além disso, nos pontos de confluência dos cursos d'água da área A foram observadas discordâncias entre as redes de drenagem dos MDS e da malha hidrográfica.

A região B (Figura 6) foi selecionada por ser um trecho onde o rio Formoso é bem sinuoso e também por apresentar uma cobertura vegetal considerada moderada ao longo do rio. Nesta região, observa-se que o traçado sinuoso do rio é um dos aspectos que interfere nos resultados dos MDS. O ASTER-G-

Figura 5 Região A visualizada a uma escala de 1:50.000 e 1:450.000. Na escala de 1:50.000 o *buffer* de 100m ajudam a estimar o grau de precisão dos MDS e suas diferenças. Já na escala de 1:450.000 as divergências começam a ser mais imperceptíveis ao olho nu.



DEM, que gerou feições mais sinuosas, apresentou limitação em trechos muito tortuosos do canal, mas ainda assim, foi o MDS que apresentou os melhores resultados para o trecho B.

A maior distância medida por uma linha gerada pelo ASTER-GDEM foi de 316m. O TOPODATA, assim como SRTM-4, apresenta feições geradas a mais de 400m do curso d'água. Conforme a escala de representação, a divergência entre as feições não é notada. A exemplo disto, tem-se a linha processada no ASTER-GDEM a mais de 300m do curso do rio, na qual a distância foi visualmente insignificante quando observada a uma escala de 1:200.000. Entretanto, uma feição distante 300m do objeto representado atenderia a uma carta classe D, na escala de 1:300.000 (Tabela 1), de acordo o PEC planimétrico dos Produtos Cartográficos Digitais (PCD).

A região C e D são trechos de maior concentração de vegetação, onde a faixa de cobertura vegetal nas margens do rio possui fragmentos que ultrapassam os 100m de largura. Com esse dossel vegetal, os MDS interpretam as copas das árvores como sendo a superfície do terreno. Consequentemente,

PEC-PCD Classes	Escala		
	1:50.000	1:250.000	1:300.000
	PEC (m)	PEC (m)	PEC (m)
A	14,00	70,00	84,00
B	25,00	125,00	150,00
C	40,00	200,00	240,00
D	50,00	250,00	300,00

Tabela 1 Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico dos Produtos Cartográficos Digitais, para as classes A, B, C, e D.

*Fonte: Adaptado de 'Norma Cartográfica Brasileira'. Ncb Eb-10-N-72.001.

mente, a região de solo exposto adjacente ao dossel vegetal apresenta valores inferiores de altitude. Dessa forma, acaba-se gerando mais de uma linha para representar o mesmo curso d'água (Figura 7).

As regiões C e D são as regiões onde a interferência da cobertura vegetal sobre a extração automática de rede de drenagem foram mais perceptíveis. No trecho C, o TOPODATA e o SRTM-4 tiveram linhas processadas a mais de 1000m do curso d'água, sendo que, a sinuosidade do rio também foi um as-

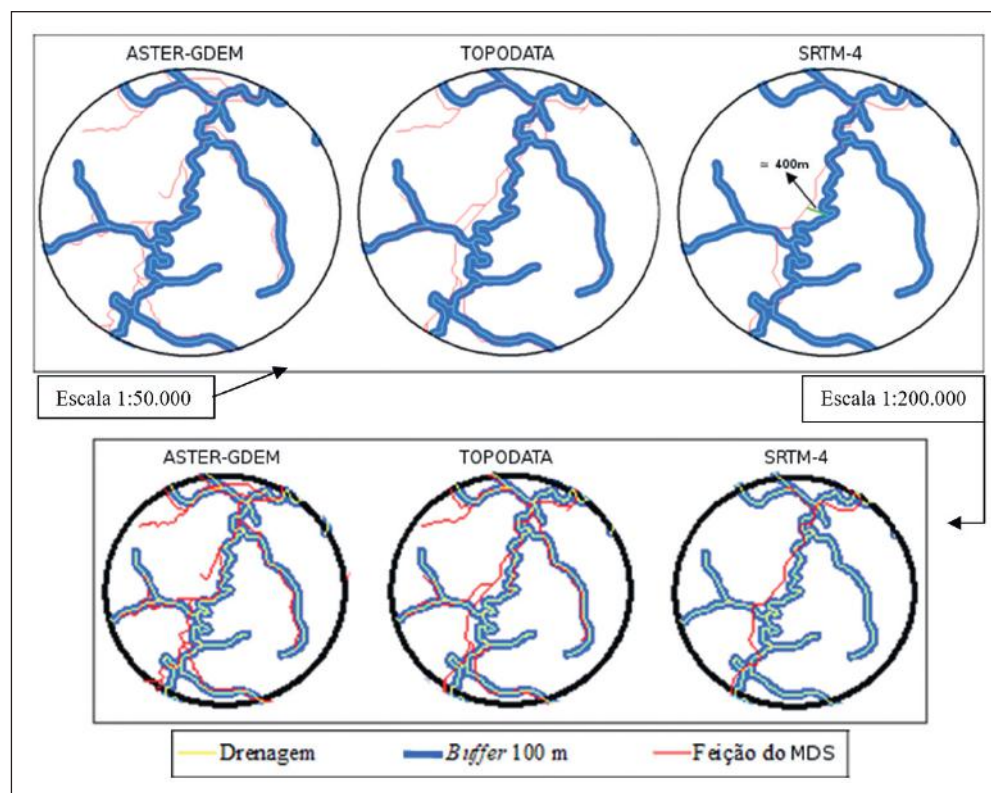


Figura 6 Região B, visualizada na escala 1:50.000 e 1:200.000. Na escala de 1:50.000 é possível identificar particularidades entre os MDS. Como por exemplo o ASTER-GDEM, que gera feições mais sinuosas que os outros MDS. Apesar da sinuosidade do trecho, os resultados de ASTER-GDEM e TOPODATA foram considerados satisfatórios, obtendo bom delineamento da rede de drenagem.

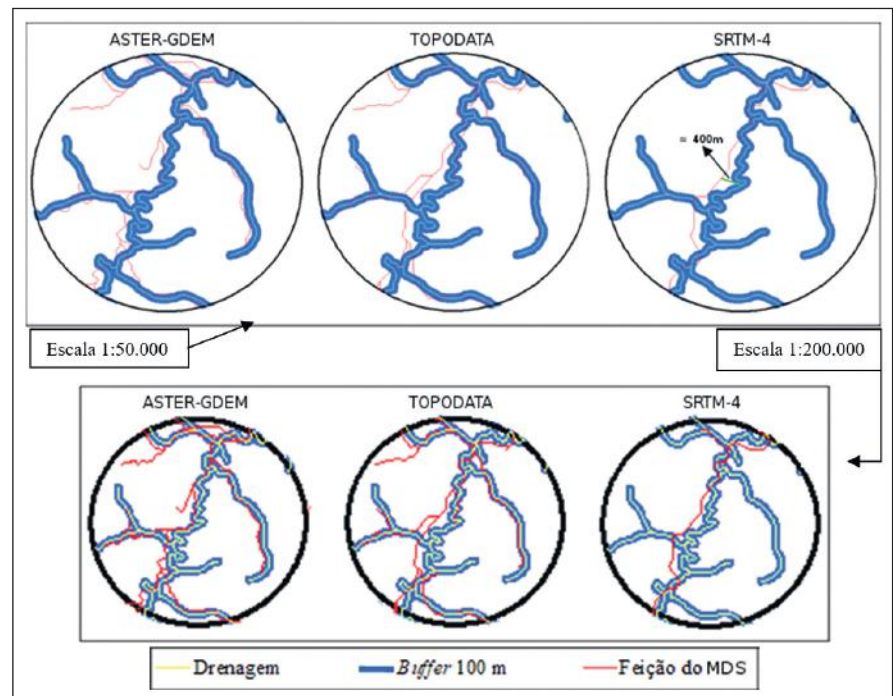


Figura 7 Região C e D visualizada na escala 1:50.000. Na região C o TOPODATA e SRTM-4 geram linhas a mais de 1000m do curso d'água. Aspectos como relevo, sinuosidade do canal (Trecho C) e vegetação ocasionaram em maior imprecisão na rede de drenagem extraída dos MDS. Além disso, nos dois trechos foram geradas mais de uma linha para representar o mesmo curso d'água.

pecto que contribuiu para a confusão dos produtos gerados na extração automática de drenagem. No caso do ASTER-GDEM, o processamento gerou linhas a mais de 700m do curso d'água nas duas regiões. A distância entre o curso d'água e as linhas processadas através dos MDS foi visível até mesmo em uma escala de 1:450.000. De forma geral, sobre a bacia hidrográfica analisada a vegetação caracterizada como mata de galeria teve maior influência sobre os produtos de ASTER-GDEM e TOPODATA.

4.2 Hierarquização Fluvial a Partir dos MDS

A rede de drenagem é um dos aspectos da fisiografia fluvial de uma região, que revela, entre outros, os padrões de drenagem, a ordenação fluvial e a densidade de drenagem. A rede de drenagem extraída automaticamente é uma simplificação da realidade, e, como todo modelo, contém algumas discordâncias que podem ser consideradas aceitáveis ou não, dependendo do contexto de uso e aplicação. A exemplo, quando se considera o fator escala de visualização, os MDS apresentaram um resultado de padrão de drenagem próximo da drenagem real, isto quando visualizados na escala de 1:450.00 (pequena escala). Entretanto, quando a análise é com base na

hierarquia fluvial, os MDS apresentam divergências entre si e com a malha hidrográfica.

A ordenação fluvial de uma bacia é o primeiro passo para a análise morfométrica de bacias hidrográficas (Cunha, 1994). Considerando a importância do dado de hierarquia fluvial, foi selecionado um trecho da bacia hidrográfica para fazer a ordenação fluvial da rede de drenagem extraída automaticamente. Dessa forma, foi possível contextualizar a diferença de hierarquia fluvial de um mesmo canal hídrico nos diferentes produtos.

Utilizando-se da classificação de hierarquia fluvial proposta por Strahler (1952 apud Christofolletti, 1980), a área da bacia analisada possui cursos d'água correspondente a canal de 3ª ordem. A mesma hierarquia de 3ª ordem do curso d'água foi apresentada nos MDS ASTER-GDEM e TOPODATA, mas com o SRTM-4, esse mesmo canal é classificado como um canal de 1ª ordem. A Figura 8 mostra a hierarquia fluvial na rede de drenagem dos MDS e da malha hidrográfica.

Como observado na Figura 7 a diferença entre ASTER-GDEM e TOPODATA está no número de canais de 1ª ordem, enquanto o TOPODATA gera 7

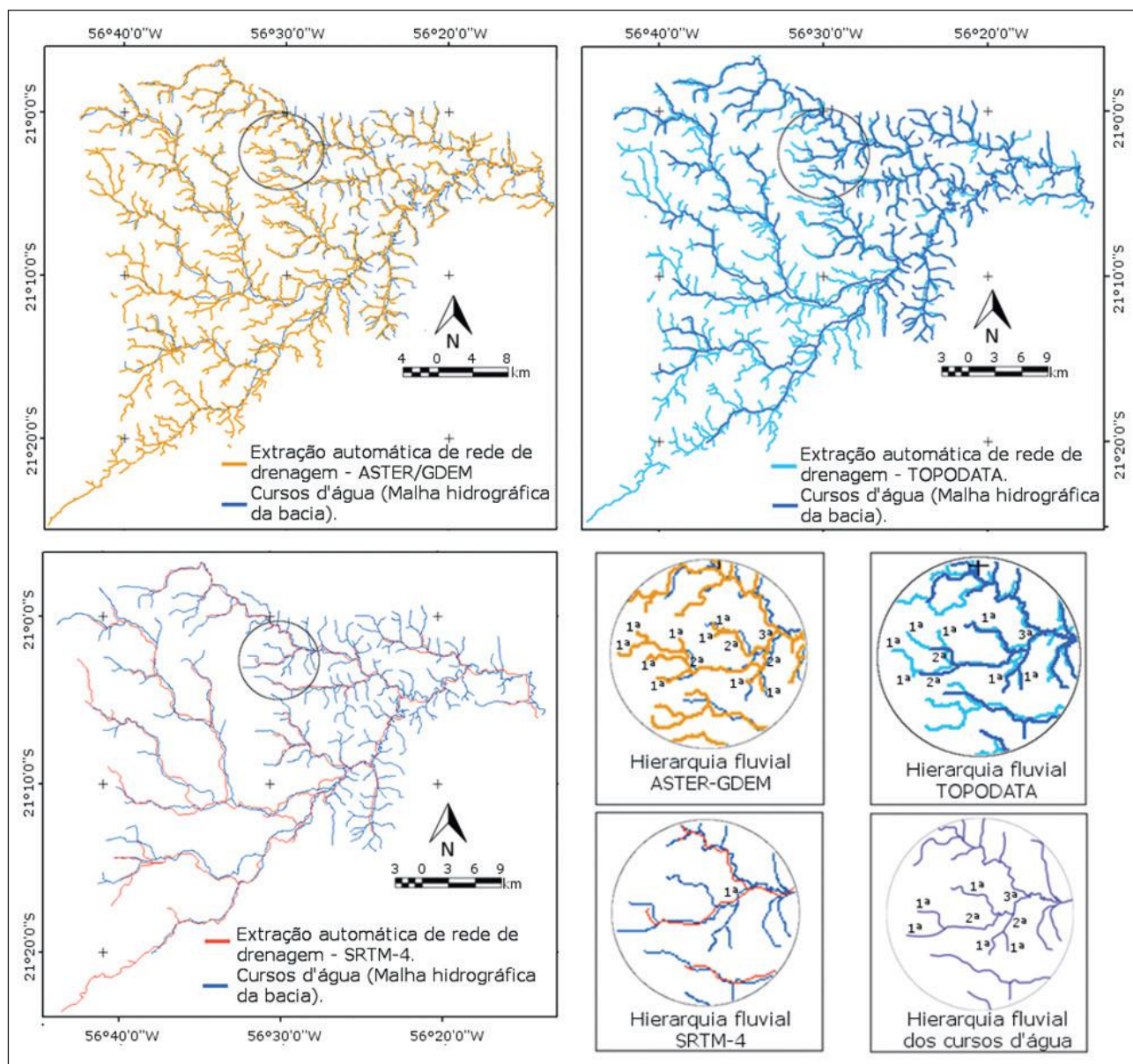


Figura 8 Rede de drenagem gerada pelos MDS ASTER-GDEM, TOPODATA e SRTM-4, comparados a malha hidrográfica. Destaque para ordenação fluvial dos canais no trecho em evidência, a diferença entre ASTER-GDEM e TOPODATA está no número de canais de 1ª ordem gerados. ASTER-GDEM cria mais canais de 1ª ordem, já o SRTM-4 gera somente um segmento de drenagem, sendo ordenado como de 1ª ordem.

canais de 1ª, o ASTER-GDEM gera 9 canais de 1ª ordem. Já os cursos d'água que o SRTM-4 interpreta como sendo de 1ª ordem, no TOPODATA e ASTER-GDEM, receberam outra hierarquia, além disso, os números de canais de escoamento divergiram da malha hidrográfica da região. Esta informação pode alterar a interpretação do ambiente, pois como aponta Vilela Filho & Vitte (2005b), quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior

é a fragilidade da paisagem, indicando maior dissecação do relevo, que pode ser provocada por controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos.

5 Considerações Finais

Analisando os três MDS, o efeito dossel provocado pela cobertura vegetal foi o aspecto que causou mais divergências nas redes de drenagem gera-

das. Em regiões onde o dossel da vegetação possuía largura superior a 100m, a influência foi perceptível em escalas de 1:200.000 e maiores. Nestas regiões de dossel vegetal, a extração automática gerou mais de uma linha de drenagem em locais onde não havia curso d'água ou havia somente um curso d'água para ser representado. Com isto, o número de canais gerados variou bastante entre os três MDS.

No caso da bacia analisada, os cursos d'água classificados como de 1º ordem na malha hidrográfica costumam apresentar junto às margens a vegetação de mata de galeria. Já as feições de escoamento geradas pelo SRTM-4 coincidem com os canais hídricos de 2º e 3º ordem da malha hidrográfica, onde a vegetação é a mata ciliar.

A rede de drenagem extraída dos MDS ASTER-GDEM e TOPODATA gerou mais feições de drenagem correspondentes a canais de menor hierarquia fluvial (1ª e 2ª ordem) e dessa forma, geraram mais canais do que realmente existem no terreno. O SRTM-4, por sua vez, gerou uma rede de drenagem com menor número de canais, conseqüentemente, deixou de representar alguns dos cursos d'água do terreno quando comparado com a malha hidrográfica da bacia. Esta diferença entre o número de canais representados, além de alterar a ordenação fluvial da BHRF, afeta por exemplo, nos dados de densidade de drenagem, que é calculado a partir do comprimento total de canais da bacia hidrográfica por unidade de área.

Como apontado, a rede de drenagem configura um dado que é parâmetro para a aquisição de outros dados hidrológicos, por isso, compreender o processo e os produtos atribuído a geração automática de rede de drenagem configura uma etapa importante da pesquisa. A exemplo, a densidade de drenagem citada representa um dos mais importantes dados na análise morfométrica, gerando direta e/ou indiretamente informações como capacidade de drenagem da bacia, locais com maior escoamento superficial, características do relevo, entre outros.

Mesmo considerando que a intenção de se optar pelo processo automático é minimizar tempo e evitar a subjetividade do operador, alguns fatores na extração automática que podem interferir no processo devem ser ponderados. Fatores como características topográficas, escala, cobertura vegetal, modelo digital utilizado, são alguns desses fatores que podem influenciar o resultado. Em vista disso, apesar

de ser um processo automático, ainda é de discernimento do operador ponderar qual a finalidade da aplicação do produto e qual erro deve ser estimado e/ou aceito.

6 Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado a Luciana Escalante Pereira e de doutorado a Cesar Cáceres Encina. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - PNPd) pela bolsa de Pós Doutorado a Eliane Guaraldo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelos recursos de Edital Universal (Processo: 446058/2014-9) e pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 305013/2018-1, de A.C. Paranhos Filho).

7 Referências

- Abrams, M.; Hook, S.; Ramachandran, B. 2002. *Aster user handbook*. Jet Propulsion Laboratory/California Institute of Technology, 2ª versão, 135 p.
- Brasil. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, jan 1997.
- Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal, Brasília, DF, mai 2012.
- Christofolletti, A. 1980. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blucher, 2ª edição. 188 p.
- Costa, C.; Costa, A.; Teixeira, A.D.S.; Alves, N.D.L.; Andrade, E.D.; Sousa, B.; & Leão, A.D.O. 2007. Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, SC, 2007. Florianópolis, p. 4833 - 4840.
- Cunha, S.B. 1994. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B (Org). *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 211 - 246.
- de Souza, J.O.P., & de Almeida, J.D.A.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): 134-149.
- Environmental systems research institute – ESRI. 2013. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.1. Redlands. Software.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2009. *Manual técnico de geomorfologia*. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 182 p.
- Norma cartográfica brasileira. 2012. NCB EB10-N-72.001: Especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais. Diretoria de Serviço Geográfico.
- O'Callaghan, J.F. & Mark, D.M. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer vision, graphics, and image processing*, 28(3): 323-44.

- Silva, A.B. 2003. *Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos*. Campinas, SP. Editora da UNICAMP. 1º ed. 232 p.
- Teruya Junior, H.; Lastoria, G.; Paranhos Filho, A.C.; Dalmas, F.B. & Correa, L.C. 2016. Mapeamento das APP's de hidrografia e declividade como subsídio a gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (Mato Grosso do Sul). *Revista Geociências*, 15(2): 128-140.
- Tomás, L.R.; Oliveira, C.G.; Fonseca, L.M.G. & Almeida, C.M. 2009. Avaliação da Acurácia de Modelos Digitais de Superfícies Gerados a partir de um Estereopar de imagens IKONOS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14, Natal, RN, 2009. São José dos Campos, INPE, p. 1897 - 1903.
- Valeriano, M.M. 2005. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, Goiânia, GO, 2005. Goiânia, p. 1 - 8.
- Vilela Filho, L.R. & Vitte, A.C. 2005. A utilização de técnicas morfométricas do relevo aplicadas na determinação da fragilidade ambiental: O caso da bacia do córrego Proença, município de Campinas (SP). *In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA*, 10, São Paulo, 2005. São Paulo, USP, p. 16272 – 16284.