

## Diferentes modelos digitais de elevação na caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Nandico, MT, Brasil

C. R. P. da Silva<sup>1</sup>; E. N. Demarqui<sup>1</sup>; F. T. Almeida<sup>1</sup>;  
R. Mingoti<sup>2</sup>; A. P. Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT, Campus Sinop, Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, 78.557-267, Sinop-MT, Brasil

<sup>2</sup>Embrapa Gestão Territorial, Av. Soldado Passarinho 303, Fazenda Chapadão, 73.070-115, Campinas, SP, Brasil

icaraima@gmail.com; demarqui80@hotmail.com; fredterr@gmail.com; rafael.mingoti@embrapa.br; adilsonpacheco@ufmt.br

(Recebido em 10 de junho de 2014; aceito em 06 e abril de 2015)

---

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem contribuído nos estudo de bacias hidrográficas por meio da automatização do processo de delineamento de bacia hidrográfica e modelos hidrológicos. O surgimento dos métodos de processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) tem permitido a geração de informações, referentes às bacias hidrográficas e suas redes de drenagem, em regiões onde há carência de bases cartográficas mais detalhadas, sendo esta uma deficiência comum na Amazônia. No presente trabalho foi realizada a delimitação automática e manual da bacia hidrográfica do rio Nandico a partir dos MDE SRTM, TOPODATA e ASTER. As bacias delimitadas foram comparadas com a rede de drenagem obtida da imagem do satélite Spot. Os resultados obtidos neste estudo de caso mostraram que as diferenças obtidas na delimitação da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, na obtenção de seus parâmetros físicos, gerados por diferentes bases de dados de MDE, apresentaram diferenças e com indicativo de uso, se considerando que não existem cartas planialtimétricas com escalas adequadas para comparar e validar com a realidade. E, a busca por alternativas viáveis na delimitação de bacias hidrográficas para regiões que não possuem bases cartográficas com maiores detalhamentos, como a Amazônia, apesar de carecer de mais estudos, tem na utilização dos MDE, obtidos gratuitamente, associados a imagens de satélite de alta resolução, um caminho para estudos de bacias hidrográficas para um adequado planejamento e gestão dos recursos hídricos e ambientais.

Palavras-chave: geoprocessamento, recursos hídricos, região Amazônica.

### **Different models of digital elevation in physical characterization of Watershed River Nandico, MT, Brazil**

The use of Geographic Information Systems (GIS) has contributed in the study watershed by automating the process of delineation of watershed and hydrological models. The emergence of the processing methods of Digital Elevation Models (DEM) has allowed the generation of information regarding watershed and its drainage networks in regions where there is lack of more detailed cartographic databases, this being a common deficiency in the Amazon. The present work was performed automatic and manual delineation of river basin Nandico from MDE SRTM, TOPODATA and ASTER. Bounded basins were compared with the drainage network obtained from Spot satellite image. The results of this case study showed that the differences obtained in the delineation of the watershed and thus to obtain their physical parameters, generated by different databases MDE, differ and indicative of use, considering that there are no planialtimetrics letters with appropriate scales to compare and validate with reality. And the search for viable alternatives in the delineation of watersheds to regions that have cartographic databases with further elaboration, such as the Amazon, though lacking most studies, the use of MDE has obtained free of charge associated with the high resolution satellite images, one way for studies of watersheds for proper planning and management of water and environmental resources.

Keywords: GIS, water resources, Amazon region.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada como a unidade de controle para as entradas e saídas de fluxos contínuos de materiais, sendo a sua delimitação uma ferramenta essencial no planejamento e gerenciamento dos recursos disponíveis, pois nortearão as ações quanto à utilização, bem como a produção de bens e serviços.

Em geral, as regiões situadas na Amazônia possuem bases cartográficas em pequenas escalas, sem maiores detalhamentos, que apresentam vazios topográficos, comprometendo assim estudos espaciais. A obtenção de dados cartográficos, com uma melhor caracterização do terreno (tanto para dados planimétricos como altimétricos), pode ser considerada por aerofotogrametrias, radares entre outros, todavia, são considerados como processos onerosos.

Atualmente, dados provenientes de sensores orbitais se mostram uma alternativa interessante, havendo produtos gratuitos que podem ser utilizados nos processos de caracterização de uma bacia hidrográfica através do processamento de dados altimétricos (modelos digitais de elevação - MDE), mesmo que não tendo um detalhamento tão rigoroso como as opções citadas anteriormente.

Neste contexto, são opções gratuitas os dados fornecidos pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que para a América do Sul possuem resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) [1]; segundo Valeriano [2], outra opção é o MDE disponibilizado pelo projeto TOPODATA, que por sua vez, é elaborado a partir dos dados SRTM e refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) pelo método de krigagem; e por fim o MDE obtido pelo sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) a bordo do satélite Terra, com resolução espacial de 30 m [3]. Estas fontes de dados têm sido usadas em diversos trabalhos que tratam da caracterização e estudo de bacias hidrográficas [13, 14, 20 e 24].

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), associado a técnicas de geoprocessamento, tem contribuído com a obtenção de informações a partir de dados MDE, de modo a auxiliar nas avaliações e manejo de bacias hidrográficas por meio de informações sobre o relevo e hidrografia, consideradas como imprescindíveis para a delimitação das mesmas.

A aplicação de SIG para as delimitações das áreas das bacias hidrográficas podem ser realizadas manualmente ou automática, sendo que a delimitação manual emprega dados topográficos e consiste em, inicialmente, identificar o ponto de exutório, e posteriormente, traçar o divisor perpendicularmente às curvas de nível, em cotas conhecidas mais elevadas, até a identificação dos divisores topográficos, e por fim, retornando ao ponto de partida [4]. Já o processo de delimitação automática por meio de um SIG, baseia-se em informações obtidas a partir de algoritmos aplicados a modelos digitais de elevação [5].

A disponibilização e facilidade de acesso a dados de MDE's tem contribuído para os avanços nos estudos hidrológicos, com extração automática de redes de drenagem, geomorfologia e planejamento dos recursos hídricos [6-10]. E ainda, a delimitação automática de bacias hidrográficas com o emprego de MDE's em ambiente SIG, é tema de trabalhos recentes como Merkel et al. [11], Carvalho [12], Alves Sobrinho et al. [13], Oliveira et al. [14] e Brubacher et al. [15].

As informações geradas pelos MDE's disponibilizados gratuitamente, propiciam agilidade no levantamento de dados hidrológicos e pode subsidiar pesquisa em outras regiões que apresentem bases cartográficas pouco detalhadas, como o caso da Amazônia. Nesse contexto, para que um MDE reproduza informações mais próximas da realidade do relevo, assegura-se a convergência do escoamento superficial para ao longo da rede de drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica, independentemente do modelo empregado [16].

Esse trabalho objetivou analisar as delimitações da bacia hidrográfica do Rio Nandico, Mato Grosso, Brasil, obtidas de forma automática por meio dos modelos digitais de elevação do tipo SRTM, TOPODATA e ASTER e de forma manual (obtida por meio da rede de drenagem vetorizada baseada a partir da imagem Spot e da altimetria dos mesmos MDE).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica estudada refere-se do Rio Nandico, tributário do Rio Teles Pires e pertencente à Macrobaçia Hidrográfica Amazônia, sendo que a sua área pertence ao município de Vera, região Médio-Norte do Estado de Mato Grosso (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical) com duas estações bem definidas: chuvosa (entre outubro e abril) e seca (entre maio e setembro). Ocorre pequena amplitude térmica anual, com médias mensais oscilando entre 22,96 e 25,76 °C, sendo que os meses de setembro e outubro são considerados os mais quentes (com temperaturas máximas médias próximas a 36 °C). Em média, ocorrem 2000 mm ano<sup>-1</sup> de precipitações pluviárias, com mais de 50% entre dezembro e fevereiro, enquanto que cerca de 1% ocorre entre junho e agosto [17].

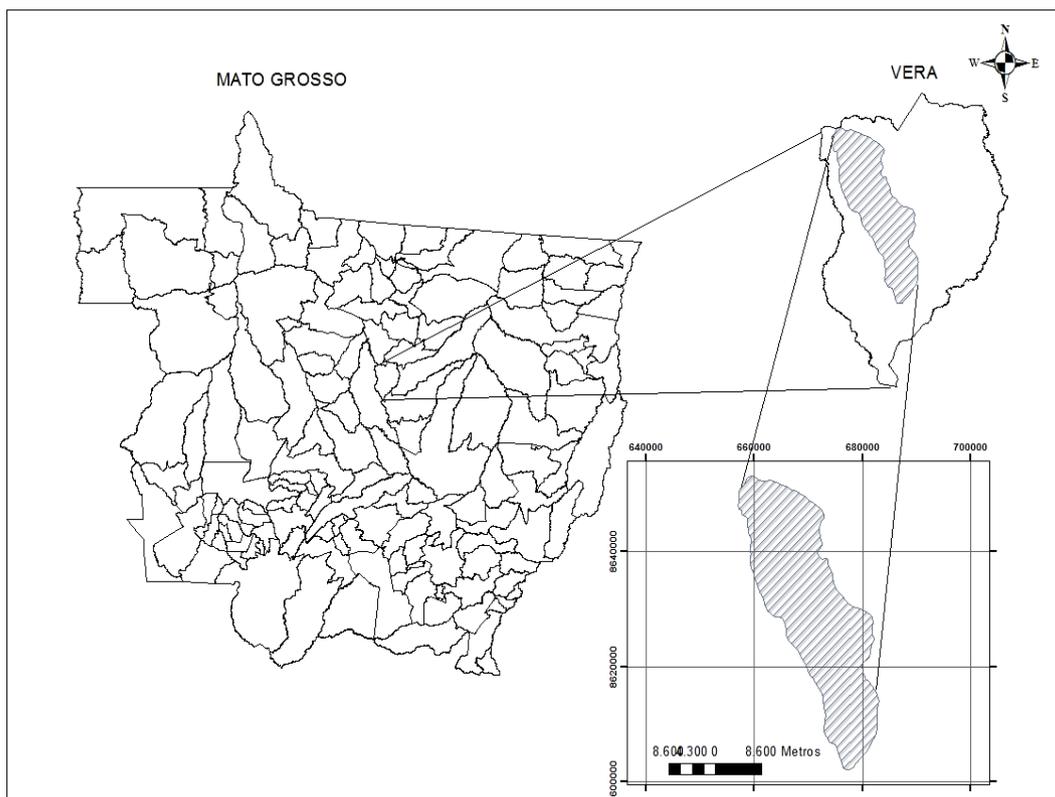


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Nandico, em Vera-MT, Brasil.

A metodologia adotada no presente trabalho consiste de 3 etapas principais, as quais podem ser observadas no fluxograma da Figura 2.

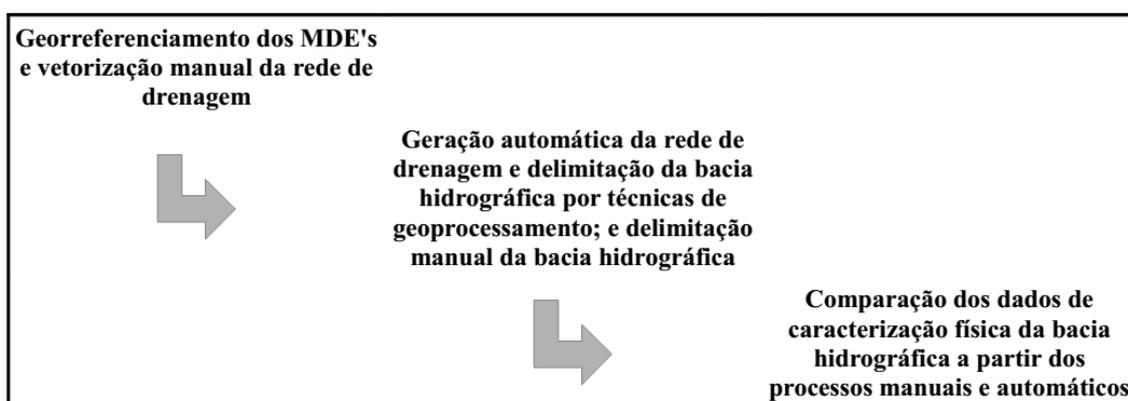


Figura 2. Etapas principais da metodologia proposta.

A primeira etapa consistiu na utilização de uma imagem do satélite Spot, disponibilizada pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA-MT), com resolução espacial de 5 metros, para a identificação e vetorização dos contribuintes do Rio Nandico e outros cursos d'água circunvizinhos aos divisores topográficos (Figura 3).



Figura 3. Rede de drenagem vetorizada da bacia do rio Nandico a partir da Imagem Spot.

Esse procedimento gerou uma rede drenagem com maior nível de detalhamento (considerada como referência), sendo necessária para comparar os resultados que serão obtidos na próxima etapa da metodologia proposta.

Na sequência, os dados SRTM, TOPODATA e ASTER foram processados em ambiente SIG para a obtenção automática da rede de drenagem e limites da bacia hidrográfica. Para tanto, foram utilizados módulos (algoritmos) de Hidrologia contidos na extensão *Spatial Analyst* do programa ArcGis versão 10.1, conforme fluxograma na Figura 4. Este processo já vem sendo abordado por outros autores, como em [13], e se mostra confiável nos seus resultados, ficando dependente da qualidade do MDE utilizado.

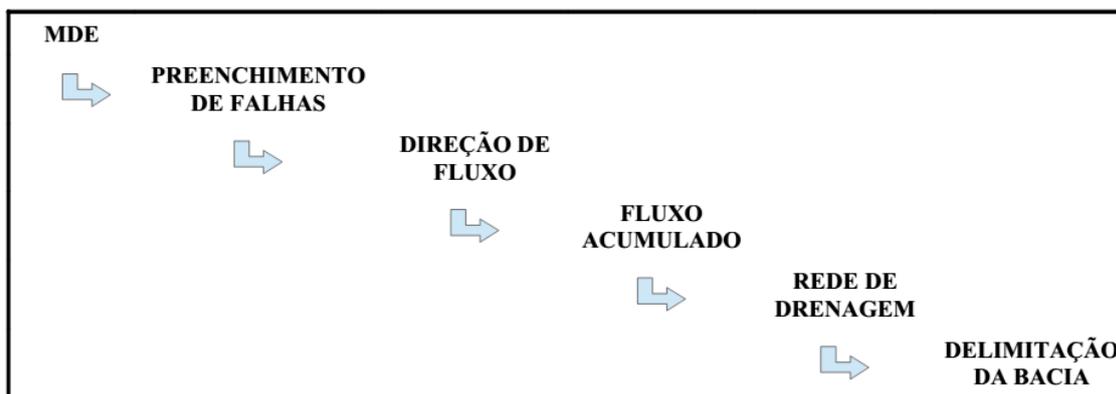


Figura 4. Etapas do processamento dos MDE (SRTM, TOPODATA E ASTER) para a obtenção das diferentes bacias hidrográficas de uma mesma área.

Com isto, os dados de altimetria SRTM, TOPODATA e ASTER foram extraídos com auxílio do módulo Superfície presente na extensão *Spatial Analyst*.

A partir dessas informações e com o auxílio da rede de drenagem vetorizada Spot, realizou-se a delimitação manual da bacia hidrográfica para cada MDE definidos a partir do exutório da bacia e dos maiores valores de cotas observados (divisores topográficos). Todas as informações obtidas foram projetadas para o SIRGAS2000 – UTM – Fuso 21 S.

A partir dos dados obtidos anteriormente foi possível realizar a comparação das redes de drenagem obtidas com cada MDE, tendo sido atribuído como indicativo de qualidade as melhores adequações com a rede de drenagem obtida com Spot. Esta solução se fez necessária, pois para a região de estudo não existem cartas topográficas em escalas compatíveis (grandes e médias), as quais poderiam fornecer parâmetros para a avaliação dos parâmetros físicos obtidos a partir do processamento dos MDE's.

Os resultados e análises destas comparações serão abordados no próximo tópico, no qual também serão visualizadas as representações cartográficas resultantes destes processos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As delimitações da bacia hidrográfica do Rio Nandico, obtidas automaticamente por diferentes modelos digitais de elevação, apresentaram conformações diferentes entre si, sendo que em alguns casos foram englobados áreas e rios de bacias vizinhas, de forma a resultar em inconsistências para definição da rede de drenagem quando comparado com os dados obtidos via vetorização da Spot (Figura 5).

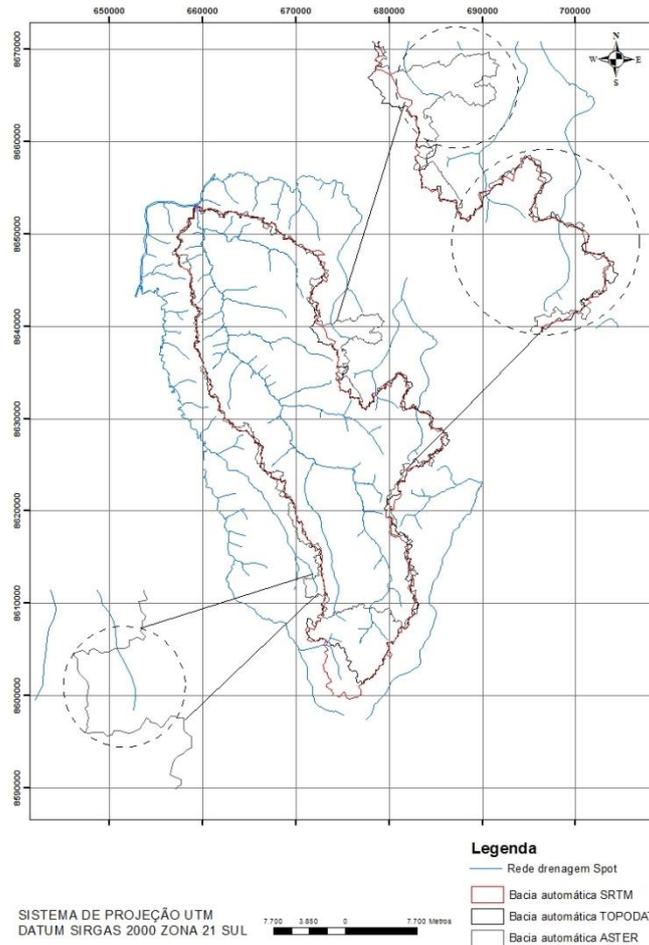


Figura 5. Delimitação automática das bacias do rio Nandico pelos diferentes MDE (SRTM, TOPODATA E ASTER), e comparação visual com a rede de drenagem elaborada por meio da Imagem Spot.

A delimitação automática da bacia do rio Nandico para cada MDE resultou em diferentes áreas e perímetros, com variações de 6,5 e 27,7% entre as áreas de drenagem e perímetros, respectivamente (Tabela 1). Esse fato demonstra que a utilização de qualquer um dos dados de MDEs avaliados para a delimitação automática resulta em erros, mas que não são possíveis de serem plenamente avaliados devido à inexistência de cartas planialtimétricas de escalas maiores contendo a área de estudo. Todavia, apesar das diferenças encontradas neste trabalho, entende-se que a adoção de qualquer um dos MDE utilizados para delimitação automática, pode atender os estudos em bacias hidrográficas, conforme resultados encontrados em outros trabalhos, tais como os desenvolvidos em Sobrinho et al. [13], Souza et al. [18] e Goergen et al. [19].

Tabela 1. Comparativo de áreas e perímetros obtidas na delimitação automática a partir dos diferentes MDE na bacia do rio Nandico.

| Parâmetro                           | MDE    |          |        |
|-------------------------------------|--------|----------|--------|
|                                     | SRTM   | TOPODATA | ASTER  |
| Área de drenagem (km <sup>2</sup> ) | 647,55 | 630,14   | 608,00 |
| Perímetro (km)                      | 180,57 | 201,33   | 230,35 |

Em função do processo de delimitação automática englobar áreas de outras bacias, verificou-se que as redes de drenagem geradas pelos diferentes MDE apresentaram distintos padrões de drenagem quando comparada a rede de drenagem Spot e seguiram uma tendência de incorporação de áreas de outras bacias (Figura 6). Para tanto, foi criado um buffer de 15 metros a partir da rede de drenagem Spot, de modo a ter uma zona de conferência, permitindo assim,

analisar qual rede drenagem apresentou maiores percentuais da sua extensão dentro desse buffer, ou seja, mais próxima da rede de drenagem de referência (vetorizada).

As análises mostraram que, mesmo apresentando algumas falhas, as redes de drenagem extraídas dos MDE's ASTER e TOPODATA geraram os melhores resultados. A rede de drenagem obtida do modelo SRTM apresentou resultados poucos satisfatórios em relação a rede de drenagem obtida da Imagem Spot, não identificando os pequenos tributários que compõem a bacia, podendo este fato, ser associado a resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m), enquanto que nos outros dois MDE's apresentam resoluções da ordem de 30m.

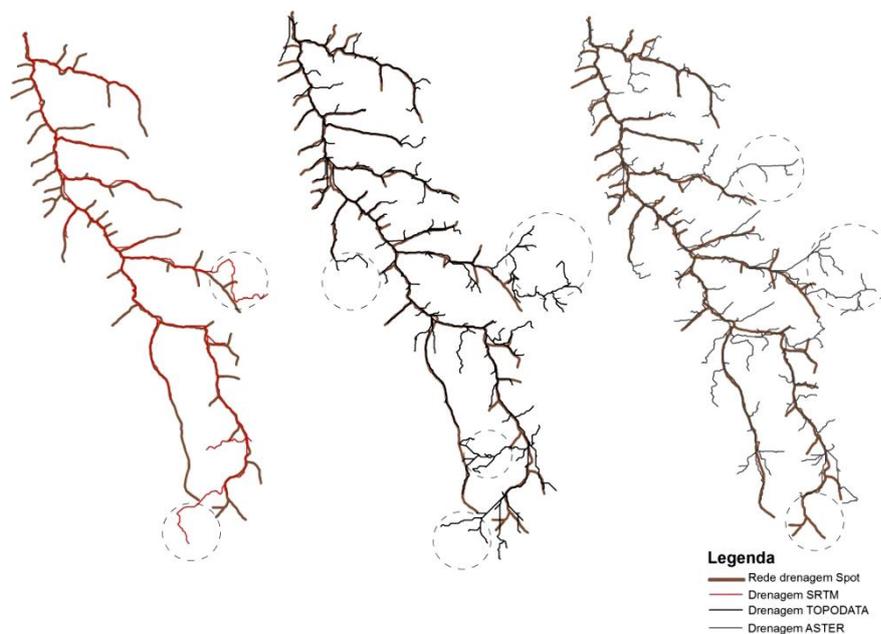


Figura 6. Comparação das redes de drenagem obtidas por meio da imagem Spot com buffer de 15 m e obtidas de maneira automática dos diferentes MDE (SRTM, TOPODATA e ASTER).

Os valores de área e perímetro da bacia hidrográfica estudada, obtidos pela delimitação manual, baseado nos diferentes MDE, se mostraram bem próximos (Figura 7), tanto em relação à área como para o perímetro, apresentando diferenças menores do que 1%, conforme a Tabela 2. Esses resultados indicam que os diferentes dados de altimetria obtidos dos MDE's (SRTM, TOPODATA e ASTER) não influenciaram na obtenção da delimitação da bacia hidrográfica, e evidencia-se que a rede de drenagem obtida por meio da vetorização da Imagem Spot pode ter mais impacto, causando melhoria e precisão nos resultados.

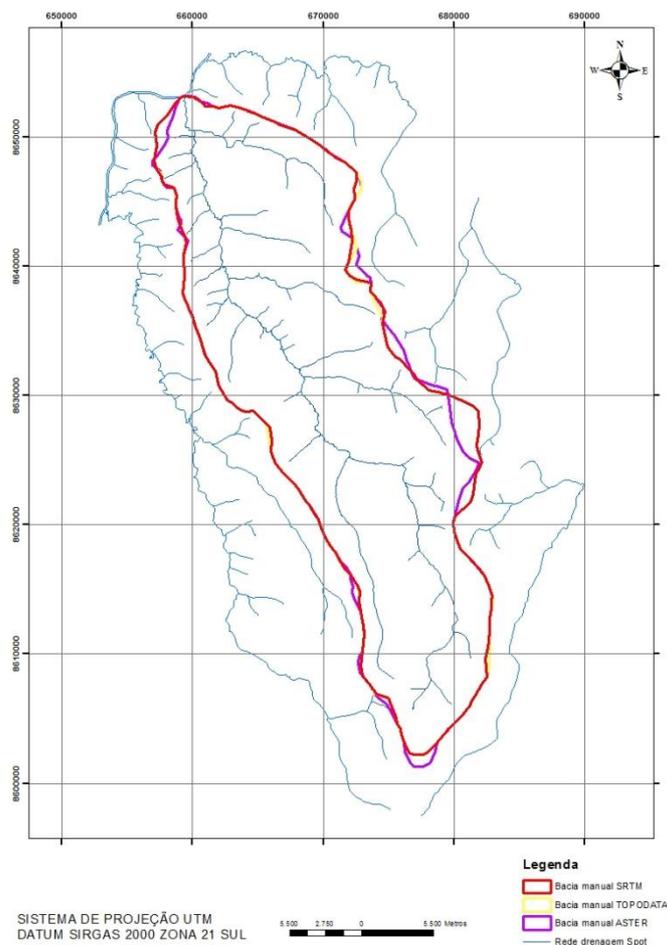


Figura 7. Delimitação manual da bacia do rio Nandico, a partir dos dados de altimetria obtidos dos MDE SRTM, TOPODATA e ASTER e rede drenagem Spot.

Tabela 2. Comparativo de áreas e perímetros obtidas na delimitação manual a partir dos diferentes MDE na bacia do rio Nandico.

| Parâmetro                           | MDE    |          |        |
|-------------------------------------|--------|----------|--------|
|                                     | SRTM   | TOPODATA | ASTER  |
| Área de drenagem (km <sup>2</sup> ) | 598,00 | 599,20   | 595,10 |
| Perímetro (km)                      | 130,00 | 130,00   | 130,55 |

Para comparar as bacias obtidas pelo delineamento automático e manual, foi criado um buffer de 30 metros nas projeções das bacias automáticas, criando assim uma zona de influência, que perfaz na obtenção de sobreposições, ou seja, coincidências entre delimitações automáticas e manuais (Figura 8). Isso indica que a delimitação manual gerada pode ser empregada nos estudos de bacias hidrográficas para a região.

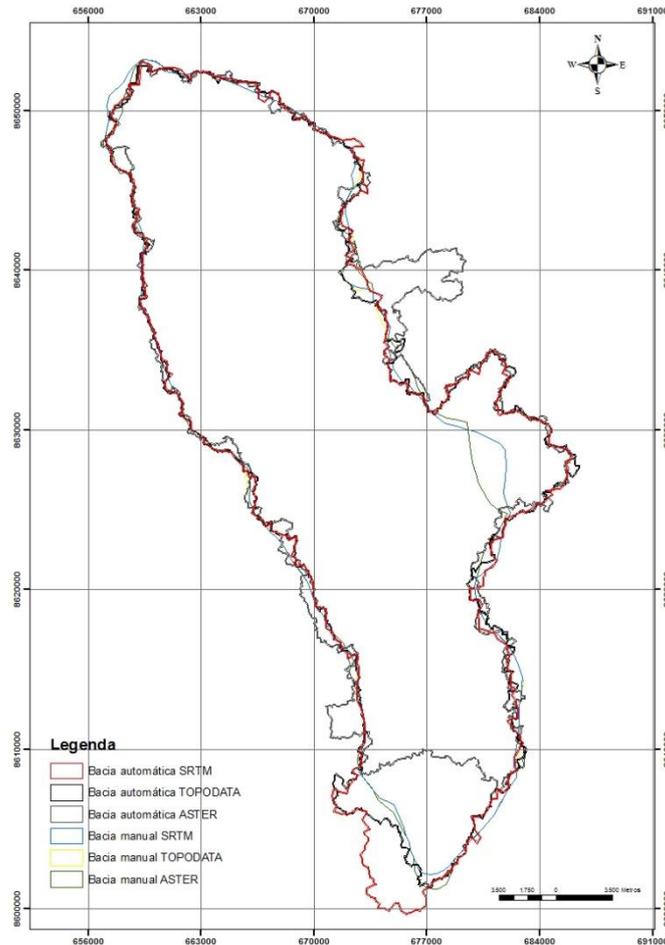


Figura 8. Comparação visual entre os perímetros obtidos na delimitação automática e manual na a bacia do rio Nandico.

A área e o perímetro da bacia hidrográfica obtidos pelo método automático para todos os MDE foram superiores quando comparadas com o método manual. Este fato corrobora com Souza et al. [18], em especial para o perímetro, pois o traçado manual permite menores sinuosidades. Na delimitação automática ocorreram erros grosseiros de delimitação da bacia e da rede de drenagem, pela abrangência de cursos d'água de bacias vizinhas. Esse comportamento pode ser oriundo da influência do relevo da bacia (muito plano na região de estudo), permitindo que o algoritmo empregado na delimitação automática apresentasse dificuldades na definição de pontos cotados. Essa dificuldade de delimitação automática de bacias hidrográficas em áreas planas corrobora com as observações de Oliveira et al [20], Getirana et al [21], Jesus [22], Souza et al. [18] e Esquerdo [23].

A rede de drenagem obtida através da imagem Spot, como fonte complementar aos MDE, possibilitou a melhoria na escala, com a vetorização de pequenos rios, auxiliando na acurácia e validação das informações geradas pelos MDE. Marques et al. [24] também apontam diferenças expressivas nas redes de drenagem extraídas a partir dos distintos MDE, demonstrando que a importância do uso supervisionado desses pelo usuário, além da utilização de fontes complementares de dados para verificação a acurácia.

Por conseguinte, destaca-se a necessidade crescente de busca por alternativas que considerem a variabilidade espacial de dados, para estudos em bacias hidrográficas, principalmente para regiões que não apresentam bases cartográficas com maiores detalhamentos, como a Amazônia. Apesar de carecer de mais estudos, tem-se na utilização dos MDE, obtidos gratuitamente, associados à imagem de satélite de alta resolução, bons indicativos adequados para estudos de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

#### 4. CONCLUSÃO

O uso de MDE's para a caracterização física de bacias hidrográfica tem se mostrado uma solução interessante, principalmente levando-se em conta a sistemática falta de cartas topográficas em escalas médias e grandes, em várias regiões do Brasil.

Neste sentido, o presente trabalho pretende colaborar com esta abordagem de modo analisar os resultados obtidos a partir do uso de diferentes MDE's em uma bacia localizada em uma região de relevo plano.

Os resultados obtidos para a caracterização da área e perímetro da bacia hidrográfica do Rio Nandico, gerados pela delimitação manual utilizando diferentes MDE (SRTM, TOPODATA e ASTER), assim como pelo processo de vetorização de imagem de alta resolução (satélite Spot) mostraram valores similares, perfazendo como boas opções de uso frente aos modelos comerciais existentes.

A proposição de delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando MDE's ainda necessita de mais estudos, e possivelmente utilizando fontes complementares, principalmente para regiões que carecem de bases cartográficas com escalas mais detalhadas, e considerando a resolução dos modelos gratuitos existentes atualmente.

- 
1. Miranda EE de (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa>. Acesso em: 20 jan. 2013.
  2. Valeriano MM. Topodata: Guia para utilização de dados geomorfométricos locais, São José dos Campos: INPE, 2008, Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-18@80/2008/07,11,19,24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2013.
  3. Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). ASTER GDEM DATA. Disponível em: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp>. Acesso em: 29 jan. 2013.
  4. Torres TG. Geotecnologias na geração do divisor de bacias hidrográficas: um instrumento para a Política de Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Ambientais, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007. 78 p.
  5. Jensen S, Domingue J. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1988; 54(11): 1593-1600.
  6. Colombo R, Vogt JV, Soille P, Paracchini ML, Jager A. Deriving river networks and catchments at the European scale from medium resolution digital elevation data. *Catena*. 2007; 70(3):296-305.
  7. Ribeiro CAAS, Soares VP, Santos RM, Soares CPB. Estruturação topológica de grandes bases de dados de bacias hidrográficas. *Revista Árvore*. 2008; 32(4):687-696.
  8. Mendonça IFC, Silva JER, Souza ATA, Lopes IS, Medeiros Neto PN. Adequação do uso do solo em função da legislação ambiental na bacia hidrográfica do açude Jatobá, Patos-PB. *Geografia*. 2010; 19(2):1-14.
  9. Silva TI, Rodrigues SC. A utilização de SIGs e técnicas de geoprocessamento a partir de imagens da SRTM para a compartimentação geomorfológica da Bacia do Médio-Baixo curso do Rio Araguari/MG. *Cadernos de Geografia*. 2010; 20(34):58-73.
  10. Silva MT, Silva VPR, Sousa ES, Oliveira SO. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2012; 5(3):646-660.
  11. Merkel WH, Kaushika RM, Gorman E. NRCS GeoHydro-A GIS interface for hydrologic modeling. *Computers and Geosciences*. 2008; 34(8):918-930.
  12. Castro SB, Carvalho TM. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena*. 5(2):1-7.
  13. Alves Sobrinho T, Oliveira PTS, Rodrigues DBB, Ayres FM. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*. 2010; 30(1):46-57.
  14. Oliveira PTS, Sobrinho TA, Steffen JL, Rodrigues DBB. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2010; 14(8): 819-825.
  15. Brubacher JP, Oliveira GG, Guasselli LA, Luerce TD. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. *Geociências*. 2012; 31(3):381-393.
  16. Chaves MA. Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes para a Bacia Amazônica. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. 113 p.

- 
17. Souza AP, Mota LL, Zamadei T, Martim CC, Almeida FT, Paulino J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2013; 1(1):34-43.
  18. Souza AMB, Cruz MAS, Aragão R. Análise comparativa do uso de modelos digitais de elevação para a caracterização física da bacia do rio Japarutuba. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19, Maceió-AL. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2011. v.1. p.1-20.
  19. Goergen LCG, Schuh MS, Pereira RS. Comparação entre a delimitação manual e automática da bacia do arroio Corupá, RS, Brasil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. 2012; 8(8):777-1784.
  20. Oliveira SN, Carvalho Júnior AO, Silva TM, Gomes RAT, Martins ES, Guimarães RF, Silva NC. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 2007; 8(1):3-21.
  21. Getirana ACV, Bonnet MP, Rotunno Filho OC, Mansur WJ. Improving hydrological information acquisition from DEM processing in floodplain. *Hydrological Processes*. 2009; 23: 502-514.
  22. Jesus N. Avaliação do modelo digital de elevação ASTER para análise morfométrica em bacias hidrográficas. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. 154 p.
  23. Esquerdo JCDM. Atualização dos mapas de recursos hídricos do Estado do Mato Grosso do Sul por meio do uso de geotecnologias. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2012. 42 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de pesquisa, 32).
  24. Marques HG, Penatti NC, Paranhos Filho AC, Froehlich O, Almeida TIR, Shimabukuro Y. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto*, 15, 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1863-1870. (Cd-Rom).