

Modelos digitais de elevação na delimitação automática das sub-bacias do rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul

Maurício Dambrós Melati ^{1,2}
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo ²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/IPH
Acadêmico do curso da Eng. Ambiental – C. P.: 15029, CEP 91501-970 - Porto Alegre/RS
mauriciomelati@gmail.com

² CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
Rua Banco da Província, nº105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90840-030
francisco.marcuzzo@cprm.gov.br

Abstract. The use of Geographic Information System for automatic generation of river basins, from Digital Elevation Models are of great importance because, while it provides a time saving automates mechanical processes, reduces the number of people involved in work and reduces the subjectivity of the definition. The goal of this work is to study and discuss the qualitative properties and the accuracy of the automatic delineation of watersheds using ASTER-GDEM (30m), TOPODATA (30m) SRTM (90m) digital elevation models, compared with a DEM interpolated with pixel resolution of 90m from topographic maps at scale 1: 50,000, in the basin of river Taquari-Antas, in southern Brazil. It was found that digital elevation models obtained by remote sensors showed quite accurate for delineation of sub-basins in areas with steep slope results, but showed limitations for the generation of drainage in the flat regions of the sub-basin Taquari-Antas. In this case, the use of digital elevation models interpolated from contour lines is a good alternative to solve the problem presented.

Palavras-chave: hydrology, interpolation, remote sensing, hidrologia, interpolação, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), congrega normas e diretrizes para o gerenciamento de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Portanto, é de grande importância para hidrólogos e demais profissionais que trabalham com a coordenação dos recursos hídricos de uma determinada região o conhecimento seguro e preciso da sua unidade de gestão, ou seja, a bacia hidrográfica. O que ressalta a grande importância do conhecimento detalhado de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e do correto manuseio de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na delimitação de bacias hidrográficas.

Goularte *et al.* (2013), na delimitação de uma sub-bacia em Goiás, afirma que a utilização de programa computacional de SIG para geração automática de bacias hidrográficas, a partir dos modelos SRTM, apresentou um resultado satisfatório, pois, ao mesmo tempo em que proporciona uma economia de tempo automatiza os processos mecânicos, reduz o número de pessoas envolvidas no trabalho e diminui a subjetividade da delimitação. Outros autores (ARAÚJO *et al.*, 2009; ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010; MARCUZZO *et al.*, 2010; CARDOSO e MARCUZZO, 2011; TALON e KUNTSCHIK, 2011; MARQUES *et al.*, 2011; DE SOUZA *et al.*, 2013; PERINI *et al.*, 2013; MARCUZZO e CARDOSO, 2013; SILVA e MOURA, 2013), em estudos que envolviam delimitação de bacias hidrográficas, também relataram os benefícios da técnica.

De acordo com Chagas *et al.* (2010), os MDE gerados a partir de sensoriamento remoto podem conter erros grosseiros, tais erros estão atribuídos a fatores como, ruídos nos processos de aquisição e transferência dos dados, erros na geometria da órbita ou, presença de nuvens nas imagens quando obtidos por pares estereoscópicos de imagens.

Os interpoladores são, de forma geral, utilizados em aplicações de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para estimar valores para regiões onde não existem informações através da proximidade com locais onde existem dados (LONGLEY *et al.*, 2005).

O objetivo do presente trabalho é estudar e discutir as propriedades qualitativas e a precisão da delimitação automática de bacias hidrográficas empregando os modelos digitais de elevação ASTER-GDEM (30m), TOPODATA (30m) SRTM (90m), em comparação com um MDE interpolado com resolução de pixel de 90m a partir de cartas topográficas na escala 1:50.000, na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, na região sul do Brasil.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização Geral da Área de Estudo

Localizada na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a sub-bacia 86 divide-se em 21 sub-bacias, em sua parte norte e noroeste estão localizados os principais afluentes do rio Taquari-Antas, o Rio Forqueta, o Rio Guaporé, o Rio Turvo e o Rio Carreiro que representam as maiores sub-bacias, enquanto que na parte leste da sub-bacia, iniciando nos campos de cima da serra onde as altitudes atingem os 1000m, 10 sub-bacias drenam para o Rio das Antas, antes da confluência com o Rio Carreiro, após o encontro o rio das Antas passa a se chamar Rio Taquari, onde outras 10 sub-bacias contribuem em seu caminho até a foz, no encontro com o Rio Jacuí a uma altitude inferior a 10 metros (MAGNA, 2001). Como a sub-bacia possui diversas sub-bacias de pequeno porte que drenam para o Rio Taquari e Antas, para este estudo as sub-bacias foram divididas em sete unidades de gestão, sendo quatro representadas pelos principais afluentes citados anteriormente, e outras três representadas pelo Alto, Médio e Baixo Taquari-Antas (COMITÊ TAQUARI-ANTAS, 2014). A Figura 1 apresenta a hidrografia da sub-bacia 86 e as suas sub-bacias.

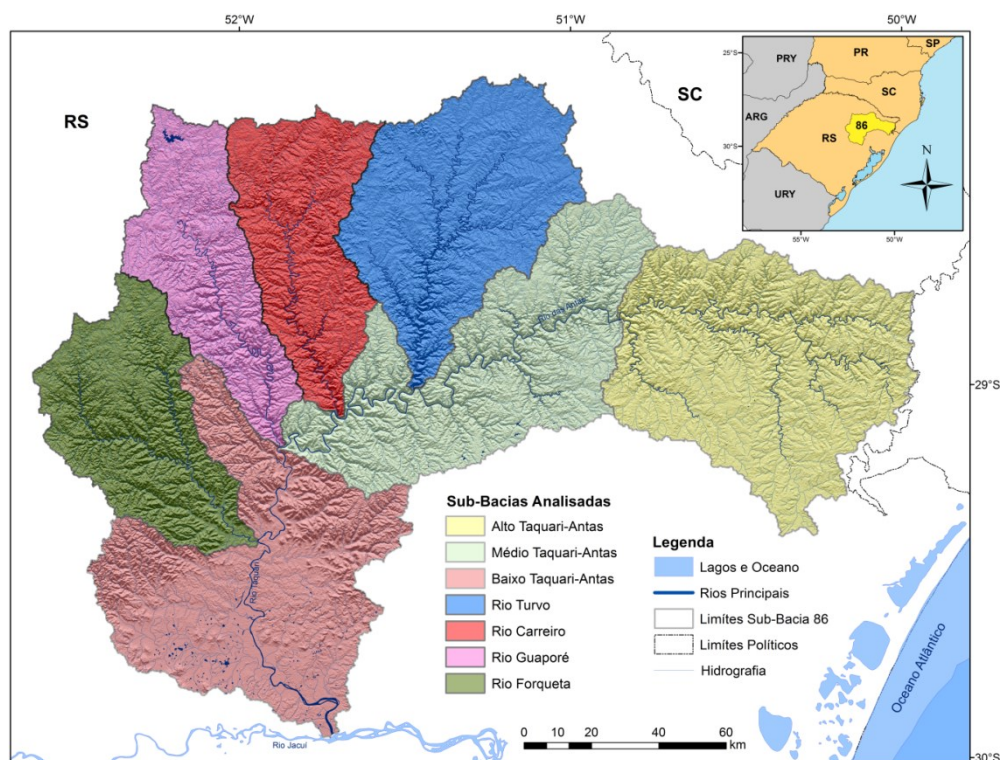


Figura 1 – Localização, hidrografia com os principais cursos d'água da sub-bacia 86 e sub-bacias utilizadas no estudo.

Em relação aos aspectos climáticos, segundo os métodos descritos por Köppen (1936) *apud* Peel (2007), o clima da sub-bacia 86 é composto unicamente pelo tipo Cfa (clima temperado úmido), que resulta de regiões com clima úmido, onde a precipitação é bem distribuída em todos os meses do ano, com inexistência de estação seca definida.

Para a caracterização pluviométrica geral da sub-bacia 86, apresentada a seguir, utilizou-se dos resultados apresentados no Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011), com

dados de precipitação compreendidos entre 1977 a 2006. Conforme Pinto *et al.* (2011) para estações pluviométricas dispostas na sub-bacia 86, na região próxima aos limites da sub-bacia a leste, os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro apresentando média mensal máxima de 169mm, para a parte central o mês de julho com 181mm, e na parte oeste o mês de outubro com 214mm. Em relação ao mês mais seco, na parte leste o mês de maio apresentou a menor precipitação com 118mm, no restante da sub-bacia o mês de março foi o mês mais seco com mínima de 87mm. A precipitação média anual ficou entre 1.500mm e 1.900mm na maior parte do território, onde os maiores valores foram verificados na sub-bacia do Rio Carreiro, os menores valores foram verificados nos limites leste e oeste.

2.2. Modelos Digitais de Elevação Utilizados

Para a geração das linhas de drenagem e delimitação das sub-bacias foram utilizados três diferentes modelos digitais de elevação (SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA), que foram analisados e comparados com a base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio Grande do Sul, proveniente de cartas topográficas na escala 1:50.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro, tais cartas foram digitalizadas ao longo das últimas décadas de forma não uniforme, e apenas em 2009 foram digitalizadas na sua totalidade, a organização e revisão dos temas vetorizados foram apresentados por Hasenack e Weber (2010). Com o intuito de possibilitar a análise comparativa com os modelos digitais de elevação, as curvas de nível vetorizadas apresentadas por Hasenack e Weber foram interpoladas pela ferramenta *TOPO TO RASTER* (ESRI, 2014; *ArcGIS* versão 10.1) para o formato *RASTER*, com resolução de pixel de 90 metros, segundo König (2014) a ferramenta *TOPO TO RASTER* baseada no algoritmo *ANUDEM* é o melhor dos métodos atualmente utilizados para estimação de altimetria, também segundo ESRI (2014) esse é o método interpolador que melhor representa a drenagem natural de superfícies.

O modelo digital de elevação SRTM possui aproximadamente 90 metros de resolução espacial, tendo sido gerado por interferometria de radar através da missão do ônibus espacial de topografia por radar da NASA (*Shuttle Radar Topography Mission*), o mosaico com o modelo digital de elevação do Rio Grande do Sul é disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (WEBER *et al.*, 2004), onde seu processamento envolveu o preenchimento de falhas existentes nos dados originais através de interpolação e conversão para valores inteiros, o MDE é disponibilizado no sistema de referência ao datum SAD69 (*South American Datum*; Sistema Geodésico Regional para a América do Sul).

O modelo digital de elevação TOPODATA possui aproximadamente 30 metros de resolução espacial, foi elaborado a partir do método de krigagem através do tratamento das imagens SRTM com resolução espacial aproximada de 90 metros (VALERIANO e ROSSETTI, 2008), o MDE é disponibilizado pela Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE no sistema de referência ao datum WGS84 (*World Geodetic System*; Sistema Geodésico Mundial).

O modelo digital de elevação ASTER GDEM possui aproximadamente 30 metros de resolução espacial e foi viabilizado através de uma parceria entre a NASA e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI), os modelos digitais de elevação foram construídos a partir de pares estereoscópicos de imagens oriundas da plataforma EOS AM-1 com o instrumento ASTER, sensor VNIR (ABRANS *et al.*, 1999). Os dados digitais são disponibilizados pela *USGS* (*United States Geological Survey*; Serviço Geológico dos Estados Unidos) onde é possível recortar um polígono do modelo digital de elevação para a área de interesse, o sistema de referência espacial ao datum é o WGS84.

Todos os dados espaciais digitais vetorizados, apresentados por Hasenack e Weber (2010), utilizados no trabalho, encontram-se referenciados ao SIRGAS2000 (Sistema de

Referência Geocêntrico para as Américas, realização 2000) no sistema de projeção UTM e disponibilizados pelo LABGEO. Para viabilizar o estudo, os MDE estudados foram convertidos do sistema de referência espacial original para o sistema de referência SIRGAS2000, que é o sistema geodésico de referência legalizado no país (BRASIL, 2005).

2.3. Técnicas para Delimitação Automática das Sub-Bacias

Para geração das linhas de drenagem e delimitação das sub-bacias de forma automática foi utilizado o programa ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014), que através do algoritmo de Jenson e Domingue (1988) atribui direção de fluxo para as células em direção a célula vizinha de maior declividade, também realiza o preenchimento de áreas de depressão onde o escoamento converge, possibilitando assim as operações hidrológicas. Além disso, em locais onde os resultados apresentaram grandes divergências, as operações hidrológicas foram refeitas com o programa IDRISI Selva (CLARK LABS, 2012), que através do algoritmo PFS (SEDGEWICK, 1992) localiza um caminho que direciona o fluxo para fora das depressões e ajusta os valores das células ao longo do caminho de fluxo para que formem um caminho de fluxo decrescente. A descrição das etapas dos métodos é detalhada por Buarque *et al.* (2009).

3. Resultados e Discussão

3.1. Valores de Área e Perímetro Obtidos Para as Sub-Bacias Analisadas

Considerando a foz do Rio Taquari-Antas na coordenada 29°56'42'' S e 51°43'40'' O, o MDE Hasenack e Weber obteve a maior altitude (17m), enquanto o MDE ASTER a segunda maior altitude (9m), o MDE SRTM a terceira menor altitude (7m), e o MDE TOPODATA a menor altitude (2m). Considerando a nascente do Rio Taquari-Antas na coordenada 29°06'38'' S e 50°00'45'' O, onde nasce o Arroio da Reserva dentro do Parque Nacional da Serra Geral, o MDE TOPODATA obteve a maior altitude (1062m), o MDE SRTM a segunda maior altitude (1053m), seguido do MDE ASTER com a terceira maior altitude (1050m) e do MDE Hasenack e Weber com a menor altitude (1048m) com a menor altitude. Analisando o maior comprimento de talvegue de rio da nascente até a foz, utilizando a hidrografia publicada por Hasenack e Weber (2010), obteve-se um comprimento de 567,4km da nascente do Taquari-Antas até a sua foz. Os resultados de área e perímetro obtidos nas sub-bacias estudadas para os modelos digitais de elevação utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de área e perímetro para as sub-bacias analisadas.

Sub-Bacias	Hasenack e Weber	SRTM	TOPODATA	ASTER	Hasenack e Weber	SRTM	TOPODATA	ASTER
	----- Área (km ²) -----				----- Perímetro (km) -----			
Rio Turvo	3783,01	3777,03	3776,21	3779,04	347,15	356,26	384,21	410,34
Rio Carreiro	2566,19	2564,76	2563,54	2564,54	307,38	313,61	334,79	356,71
Rio Guaporé	2489,03	2489,68	2488,39	2490,17	316,37	327,50	349,06	370,05
Rio Forqueta	2848,12	2845,75	2846,29	2847,00	310,57	317,08	338,63	361,63
Baixo Taquari-Antas	5067,56	5092,70	5096,74	5081,40	499,68	516,89	566,26	580,91
Médio Taquari-Antas	4476,81	4479,49	4479,13	4475,46	475,70	487,55	528,94	562,22
Alto Taquari-Antas	5142,14	5209,21	5215,43	4905,84	405,22	432,07	472,01	464,59
Taquari-Antas	26372,76	26458,52	26465,75	26143,51	1136,10	1184,38	1286,52	1323,38

Considerando Hasenack e Weber como 100%, os valores de área apresentaram grandes diferenças nas regiões localizadas nas cabeceiras da sub-bacia 86, as sub-bacias do Alto Taquari-Antas apresentaram os resultados mais disformes, o MDE ASTER apresentou uma redução de 4,6%, e os MDE TOPODATA e SRTM apresentaram um aumento de 1,4% (Figura 2), tal imprecisão é ocasionada pelas características do relevo plano da região que limita a sub-bacia a leste, formado pelos campos de cima da serra (FORTES, 1956), segundo Cecílio *et al.* (2007) estudos para delimitação de sub-bacias no Espírito Santo utilizando modelos digitais de elevação também apresentaram resultados imprecisos para regiões planas.

Para as sub-bacias do Rio Turvo, Rio Carreiro, Rio Guaporé e Rio Forqueta, os valores de área obtidos apresentaram uma grande similaridade, o que se deve ao fato de as regiões apresentarem relevo bastante acentuado, o que facilita a interpretação das direções de escoamento pelo algoritmo utilizado, a maior diferença verificada foi de 0,18% para a sub-bacia do Rio Turvo utilizando o MDE TOPODATA.

Nas regiões do Médio Taquari-Antas a maior diferença verificada foi uma redução de 0,06% utilizando o MDE SRTM. Enquanto que para a região do Baixo Taquari-Antas a maior diferença constatada foi uma redução de 0,58% de área para o MDE TOPODATA, o que pode ser explicado pelo fato de que a sub-bacia em suas partes mais baixas apresenta um relevo bastante plano. Para a área da sub-bacia Taquari-Antas na sua totalidade, pôde-se verificar que as diferenças obtidas são decorrentes das diferenças constatadas no Alto Taquari-Antas.

A Figura 2 apresenta a delimitação da sub-bacia 86 no Alto Taquari-Antas para os diferentes modelos digitais de elevação utilizados, comparados com a delimitação do local identificada pelas cartas do exército 1:50.000 apresentadas por Hasenack e Weber (2010).

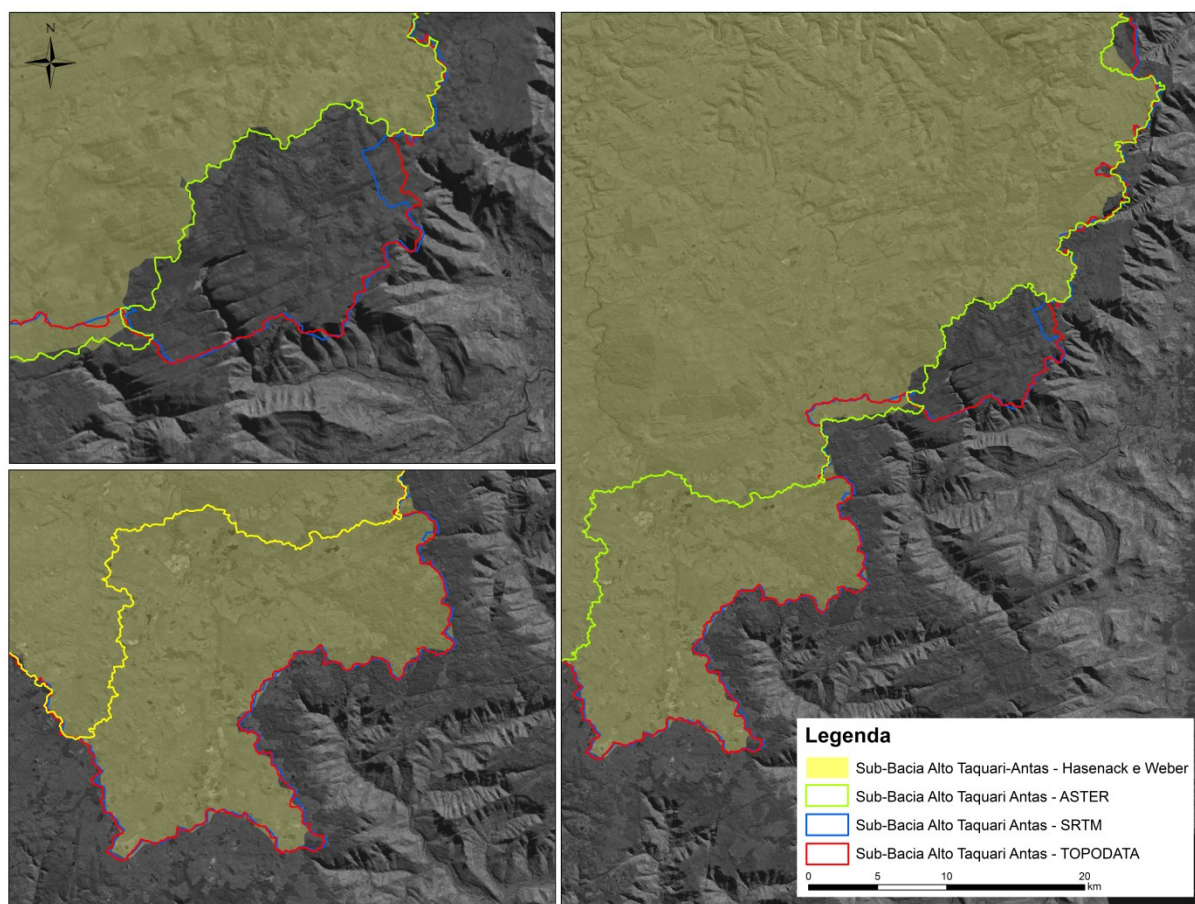


Figura 2 – Delimitação da sub-bacia 86 na região do Alto Taquari-Antas a partir de Hasenack e Weber (2010) em comparação com os limites obtidos a partir de diferentes modelos digitais de elevação gerados a partir de sensores remotos.

Segundo Chagas *et al.* (2010), em uma avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação de mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais, o MDE derivado de curvas de nível provenientes de cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, e obtido através do módulo *TOPO TO TASTER* apresentou qualidade superior aos MDE derivados de sensores remotos (ASTER e SRTM).

Para os valores de perímetro obtidos, não foi possível fazer nenhuma análise, pois os resultados estão relacionados com a resolução do modelo digital de elevação utilizado,

podemos verificar que para o SRTM e o Hasenack e Weber, que foram utilizados com uma resolução de 90m, os valores são consideravelmente menores e os limites mais suavizados. Entretanto para os modelos digitais de elevação TOPODATA e ASTER, onde a resolução de pixel é próxima a 30 metros, os valores obtidos são superiores, visto que os contornos das sub-bacias apresentam um maior detalhamento.

Buarque *et al.* (2009), apresenta uma comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de MDE, concluindo que todos os algoritmos estudados quando aplicados para rios largos, apresentaram resultados semelhantes, porém para rios mais estreitos, o algoritmo PSF presente no IDRISI foi o que mais se aproximou da drenagem verdadeira, sendo o método que melhor se enquadrou em regiões planas com rios de diferentes larguras.

A Tabela 2 apresenta os valores de área obtidos para a região do Alto Taquari-Antas utilizando o algoritmo FPS (SEDGEWICK, 1992) através do programa IDRISI.

Tabela 2. Valores de área para a região do Alto Taquari-Antas analisada utilizando o IDRISI.

Sub-Bacias	Hasenack e Weber	IDRISI	ARCGIS	IDRISI	ARCGIS	IDRISI	ARCGIS
		SRTM		TOPODATA		ASTER	
----- Área (km ²) -----							
Alto Taquari-Antas	5142,14	5213,27	5209,21	5216,40	5215,43	4905,53	4905,84

Através dos novos valores obtidos para as áreas estudadas (Tabela 2), pôde-se verificar que não houve alteração considerável em relação aos resultados obtidos anteriormente. Considerando Hasenack e Weber como 100%, notou-se que a maior diferença foi obtida com o programa IDRISI com o MDE ASTER para a sub-bacia do Alto Taquari-Antas (4,6% de diferença), sendo possivelmente ocasionada pela interpretação errada da drenagem na nascente do rio Taquari-Antas. Já a menor diferença foi obtida com o programa ARCGIS com o MDE SRTM para a sub-bacia do Alto Taquari-Antas (1,3% de diferença).

4. Conclusão

Em síntese, verificou-se que os modelos digitais de elevação obtidos por sensores remotos apresentaram resultados bastante precisos para a delimitação das sub-bacias em regiões com declive acentuado, porém apresentaram limitações para a geração da drenagem nas regiões planas da sub-bacia Taquari-Antas. Nesse caso, a utilização de modelos digitais de elevação interpolados provenientes de curvas de nível é uma boa alternativa para contornar o problema apresentado, possibilitando a melhor delimitação da sub-bacia hidrográfica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - empresa pública de pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Abrams, M.; Hook, S.; Ramachandran, B. **ASTER users handbook**. Pasadena: JPL, 1999. 93p.

Araújo, E. P. de; Teles, M. G. L.; Lago, W. J. S. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25 a 30/04/2009, **Anais...** INPE, v. 1, p. 4631 – 4638. 2009. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.07.25?languagebutton=pt-BR&mirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54&searchsite=bibdigital.sid.inpe.br:80&searchmirror=sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/04.07.15.50.13>>. Acesso em: 30 set. 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a nº 7.990, de 28/12/1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 23 set. 2014.

BRASIL, Decreto n. 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm>. Acesso em: 30 set. 2014.

Buarque, D.C.; Fan, F.M.; Da Paz, A.R.; Collischonn W. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2 p. 91-103, 2009. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/d19ff6907cb63d2ddec3da58a317a9c_43718398abda483b_b78cc4b1c63ae540.pdf>. Acesso em: 14 out. 2014.

Cardoso, M.R.D., Marcuzzo, F.F.N. Estudo da morfologia areal da bacia do rio Araguaia utilizando MDE. **Revista Georaguaiá**. v. 1, p. 69-76, 2011. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4025661>>. Acesso em: 14 out. 2014.

Cecílio, R.A.; Coutinho, L.M.; Xaviel, A.C.; Moreira, M.C.; Zanetti, S.S.; Garcia, G.de O. Delimitação de Bacia Hidrográfica em Região Montanhosa a partir de Diferentes Modelos Digitais de Elevação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2007-2024, 2013. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10861>>. Acesso em: 14 out. 2014.

Chagas, S.C.; Filho, E.I.F.; Rocha, M.F.; Júnior, W.de C.; Neto, N.C.S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000200014>. Acesso em: 14 out. 2014.

Clark Labs – Idrisi. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão Selva. 2012. Disponível em: <<http://www.clarklabs.org/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

COMITÊ TAQUARI-ANTAS, 2014. Quem somos. Disponível em: <<http://www.taquariantas.com.br/site/home/pagina/id/13>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

De Souza, C. H. W.; Bazílio, S. Wrublack, S. C.; Mercante, E.; Vilas Boas, M. A. Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, através de dados SRTM. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 – 18 abril 2013, **Anais...** INPE, v. 1, p. 5515 – 5522. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0277.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ArcGIS. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão 10.1. 2014. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/features/>>. Acesso em: 01 set. 2014.

Fortes, A. B. Aspectos fisiográficos, demográficos e econômicos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: O Globo, 1956.

Goularte, E.R.P.; Marcuzzo, F.F.N.; Macedo, F.C. Estudo Hidromorfométrico da Área de Contribuição da Bacia Hidrográfica a Montante de Goiânia/GO. **Revista GeoAraguaia**, v. Edição, p. 147-162, 2013. Disponível em: <<http://revistas.cua.ufmt.br/revista/index.php/geoaraguaia/article/viewArticle/470>>. Acesso em: 14 out. 2014.

Hasenack, H.; Weber, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=123:base50krs&catid=14:download-non-visible>. Acesso em: 31 ago. 2014.

Jenson, S.K., Domingue, J.O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988. Disponível em: <http://ml.archiveorange.com/m/att/H2CPn/ArchiveOrange_BqIHJa44tNzoGVG7sjCxl900baoa.pdf>. Acesso em: 14 out. 2014.

König, D. Comparação de Métodos de Interpolação na Geração de Modelos Digitais de Elevação: Estudo de Caso em Área no Município de São José, Santa Catarina. In: Simpósio Mineiro de Geografia, 1, 2014, **Anais...** Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.unifal-mg.edu.br/simgeo/system/files/anexos/Derik%20K%C3%B6nig.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

Köppen, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, G. Handbuch der Klimatologie. **C. Gebr, Borntraeger**, Berlin, 1936. p. 1-44. Disponível em: <https://www.climond.org/Public/Data/Publications/Koepfen_1936_GeogSysKlim.pdf>. Acesso: 31 ago. 2014.

Longley, Paul A.; Goodchild, Michael F.; Maguire, David J.; Rhind, David W. **Geographical Information Systems and Science**. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Chichester, 537p. 2005.

Magna Engenharia. Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na Bacia Hidrográfica do Sistema Taquarí-Antas: relatório final (RF); síntese dos estudos, Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul / CRH/RS / Secretaria das Obras Públicas e Saneamento / DRHS / FRH, 2001.

Marcuzzo, F.F.N.; Cardoso, M.R.D. Delimitação e estudo das ottobacias da sub-bacia 63 utilizando MDE de imagens de radar ASTER GDEM. **Revista Georaguai**, v. 3, p. 50-60, 2013. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4340755>>. Acesso em: 14 out. 2014.

Marcuzzo, F.F.N.; Cardoso, M.R.D.; Veiga, A.M. Estudo da Delimitação por MDE de Ottobacias de Cursos de Água da Sub-Bacia 63 Visando o Cálculo de Perímetro e Área de Drenagem. In: II Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia, 2010, São Paulo. **Anais do II Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia**. São Paulo: EDUSP, 2010. v. 1. p. 72-72. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_delimitacao_Marcuzzo.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2014.

Marques, H. G.; Penatti, N. C.; Paranhos Filho, A. C.; Froehlich, O.; De Almeida, T. I. R.; 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: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30 de abril a 5 de maio de 2011, **Anais...** INPE, v. 1, p. 1271 – 1278. 2011. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1263.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <<http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeel/koppen.html>>. Acesso em: 6 ago. 2014.

Perini, A. B.; Marcuzzo, F. F. N.; Da Silva, D. R. A. Modelos Digitais de Elevação no mapeamento de suscetibilidade de inundação no município de Pedro Osório/RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 – 18 abril 2013, **Anais...** INPE, v. 1, p. 6417 – 6424. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1167.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

Pinto, E. J. de A.; Azambuja, A. M. S. de; Farias, J. A. M.; Salgueiro, J. P. de B.; Pickbrenner, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Da Costa, Margarida Regueira; Dantas, Carlos Eduardo de Oliveira; Melo, De Azambuja, Andressa Macêdo Silva; Denise Christina de Rezende; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica Cristina; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Isoietas_Totais_Anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2014.

Sedgewick, R. **Algorithms in C++**. Addison-Wesley, Reading, MA. 1992.

Silva, J. R.; Moura, A. C. M. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 a 18/04/2013, **Anais...** INPE, v. 1, p. 4496 – 4502. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1304.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

Sobrinho, A. T.; Oliveira, P. T. S.; Rodrigues, D. B. B.; Ayres, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, Fev, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

Talon, G. da C.; Kuntschik, G. Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30/04 a 5/05 de 2011, **Anais...** INPE, v. 1, p. 1271 – 1278. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1057.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F.; **TOPODATA: Seleção de Coeficientes Geostatísticos para o Refinamento Unificado de Dados SRTM**; São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 31 ago. 2014.

Weber, E.; Hasenack, H.; Ferreira, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 31 ago. 2014.