

Modelos Digitais de Elevação no mapeamento de áreas de risco de inundação no município de Pedro Osório/RS

Álvaro Belotto Perini ^{1,2}
Diogo Rodrigues Andrade da Silva ^{1,3}
Francisco Fernando Noronha Marcuzzo ^{1,4}

¹ CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - CEP 90840-030 - Porto Alegre - RS, Brasil;

² alvaro.perini@cprm.gov.br; ³ diogo.rodrigues@cprm.gov.br;

⁴ francisco.marcuzzo@cprm.gov.br

Abstract. Spatial information of risk on floods areas in Brazil, which includes inundation maps and estimations of flood damage are essential tools for the creation of effective plans for both flood protection and mitigation. In flood modelling, the accuracy of the model geometry used has a remarkable impact upon flood mapping. Therefore, in this study, flood hazard mapping was undertaken with two existing DTM (Digital Terrain Model) products. Their characteristics were evaluated with respect to flood hazard mapping. An accuracy assessment of these digital terrain models and their applicability for one-dimensional flood inundation mapping clearly showed a little difference. The assessment of the potential use of MDEs products ASTER GDEM and TOPODATA for characterization of flood areas, found for the city (which has a total area of around 600 km²), the larger the dimension of flooding to calculate the greater the floodplain difference between the DTM used, getting ASTER GDEM always with the largest area.

Palavras-chave: SRTM, ASTER, Modelo Digital de Terreno, fluviometria, mapeamento de enchente, Digital Terrain Model, fluviometry, flood hazard mapping.

1. Introdução

O uso adequado de Modelos Digitais de Terreno (MDT) é de grande importância para o mapeamento de áreas de riscos em cidades onde as enchentes tornam-se problemas e ocasionam danos aos seus habitantes e materiais. Os problemas de enchentes se agravam em função do aumento da urbanização, habitação má planejada em áreas de riscos, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso e ocupação indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal próximas aos cursos naturais de água. A implicação direta é o aumento de áreas impermeáveis, o aumento do escoamento superficial e da vazão na bacia hidrográfica, colaborando para o aumento da frequência de enchentes, tornando o mapeamento dessas áreas inundáveis de extrema importância para sistemas de alerta e para planos diretores para um correto uso e ocupação do solo dos municípios.

Rodrigues et al. (2010) relatam que os produtos ASTER GDEM são o resultado de um consórcio entre a NASA, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI), o Centro de Dados e Análise dos Recursos da Terra (*Earth Resources Data Analysis Center - ERSDAC*) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey - USGS*) para construção de uma modelo digital de elevação global de livre acesso (NASA, 2012; USGS, 2012; ERSDAC, 2012). Segundo Andrades Filho (2009) o ASTER é um sensor multiespectral lançado a bordo do satélite Terra, apresentando captura de dados de média resolução espacial e capacidade de visualização estereoscópica para a criação de MDE. Sua distribuição gratuita se iniciou em Junho de 2009, sugerindo possibilidades de espacializações de redes de drenagem com maior qualidade, devido à melhor resolução espacial em relação aos dados SRTM.

Na avaliação visual de modelos 3D gerados através de produtos ASTER GDEM, SRTM e carta topográfica em relação a fotos do relevo, Schunemann e Novacovski (2011)

verificaram que a opção da utilização dos produtos ASTER GDEM (modelo de superfície) está em vantagem quanto aos produtos SRTM (modelo de elevação), mesmo com os ruídos apresentados. Entretanto, os mesmos autores verificaram que estes produtos podem ser utilizados em escalas maiores desde que sejam aliados a outras feições de apoio, como pontos cotados, hidrografia, entre outros, e ajustadas e corrigidas imperfeições visualmente localizadas, o que torna importante o apoio de profissionais que realizem levantamentos em campo.

Segundo Yamaguchi et al. (1999) os dados de elevação SRTM e ASTER são padrões de produtos obtidos com práticas caracterizadas. O SRTM é gerado através da técnica de interferometria por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas, e o ASTER é produto de imagens estereoscópicas obtidas na faixa do infravermelho próximo.

Senna et al. (2011), em um estudo sobre a ortorretificação de imagem CBERS-2B utilizando o MDE do ASTER, concluíram que o processo de ortorretificação com base em MDE embora seja procedimento padrão, na grande maioria dos casos pode ser substituído por um simples georreferenciamento da imagem devido aos pequenos ângulos de visada do satélite e o TPT de 20 m, que não provocam deslocamentos perceptíveis devido à topografia do terreno.

As novas geotecnologias e produtos orbitais (disponibilizados gratuitamente) como imagens de Radar SRTM, possibilitam um levantamento mais rápido e detalhado das bacias hidrográficas (Araújo et al., 2009). O uso desses produtos agilizam o processo de delimitação provendo uma dinâmica da análise dessas regiões, de modo que, a pesquisa e desenvolvimento possam acompanhar de perto o uso e a degradação das bacias hidrográficas a fim de criar formas sustentáveis de uso ou parâmetros que dê subsídio a criação e implantação de leis.

Oliveira et al. (2010) citam que, de modo geral, as modelagens apresentaram resultados satisfatórios, tendo em vista as limitações impostas pela baixa acurácia vertical e resolução espacial dos dados SRTM e da DSG. Mesmo com todas as limitações inerentes aos dados de entrada nos modelos, Oliveira et al. (2010) obtiveram dois mapas que identificam o padrão de distribuição das áreas inundadas em diferentes cenários de elevação das águas dos rios. Os resultados obtidos incentivam a aplicação do método em outras bacias, ou o aprimoramento do mesmo com a entrada de outros dados ou variáveis.

Mendes & Cirilo (2001) citam que, aliada ao geoprocessamento, a observação por meio de satélites é uma das maneiras mais efetivas e econômicas de estudar alguns fenômenos espaciais da natureza, e permite coletar dados para modelar alterações tanto no meio natural quanto no construído. A combinação de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento com a utilização dos SIGs permite monitorar e simular os eventos decorrentes das cheias – as enchentes e inundações –, contribuindo com a leitura e compreensão desses fenômenos.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o uso de Modelos Digitais de Elevação (ASTER e SRTM) no mapeamento de áreas inundáveis em períodos de cheia do Rio Piratini, no município de Pedro Osório, na região sul do estado do Rio Grande do Sul.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização Geral da Área de Estudo

O município de Pedro Osório (Figura 1) está localizado (31°51'50"S e 52°49'22"O) na sub-bacia 88, região hidrográfica do Atlântico Sul, e possui uma área aproximada de 608 km² e perímetro de 128 km (IBGE, 2010; ANA, 2012). Com um clima subtropical, o município possui 7.817 habitantes, o que resulta em uma densidade de 12,94 habitantes por quilometro quadrado.

A hipsometria do município de Pedro Osório/RS (Figura 2) é caracterizada por maiores altitudes na porção oeste e sudoeste. Pelo MDE ASTER GDEM, a máxima cota foi de 218 m e a mínima de cinco metros, totalizando uma amplitude hipsométrica de 213 m. Pelo MED TOPODATA, a máxima cota foi de 213 m e a mínima de um metro, totalizando uma amplitude hipsométrica de 212 m.



Figura 1. Localização do município de Pedro Osório/RS e sua hidrografia (Fonte das informações para confecção do mapa: IBGE (2012), ANA (2012)).

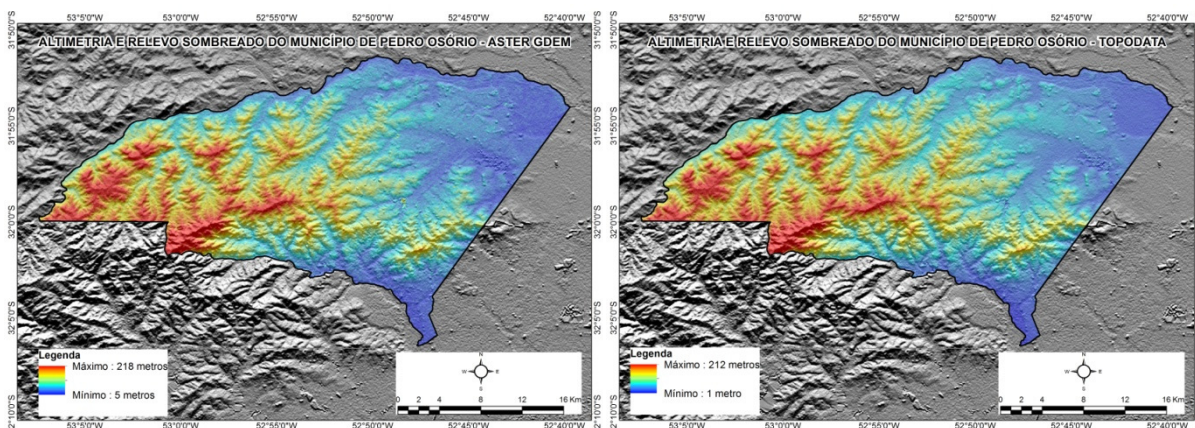


Figura 2. Altimetria e relevo sombreado do município de Pedro Osório/RS por ASTER GDEM e TOPODATA.

O município de Pedro Osório/RS está localizado no bioma do Pampa (Figura 3). A maior parte do domínio morfológico do município está sob o embasamento em estilo complexo

(oeste e centro do município) e a menor parte esta sob domínio de depósitos sedimentares (noroeste e sudeste do município).

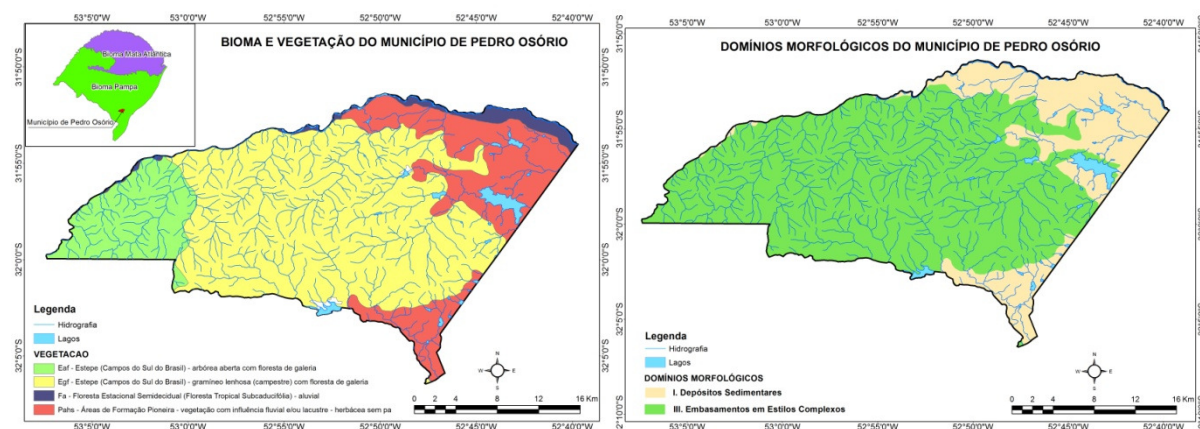


Figura 3. Bioma, vegetação, domínios morfológicos e hidrografia na área territorial do município de Pedro Osório/RS.

2.2. Modelos Digitais de Terrenos e Procedimento de Cálculo das Áreas

As áreas foram calculadas utilizando-se de imagens ASTER GDEM e TOPODATA.

O mapa ASTER GDEM foi produzido utilizando os dados de radar ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) com resolução de 30 m. As imagens ASTER são distribuídas gratuitamente no site da Agência Espacial Norte Americana (NASA, 2010).

O TOPODATA (reprocessamento de dados SRTM, INPE, 2011) pode ser adquirido no site do Projeto TOPODATA (<http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>), onde os dados disponibilizados passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho do pixel de 90 para 30 m.

Para este trabalho as imagens foram processadas em um programa de manipulação de Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcGis 10.0, assim como o cálculo das áreas.

Após os MDTs (ASTER e TOPODATA) baixados, os mesmos foram cortados para a área do município de Pedro Osório/RS. Em seguida os MDTs foram transformados em imagens binárias, 0 e 1 cada. O valor 0 recebeu os valores abaixo das cotas 28,62 metros e 30,2 metros e o valor 1 recebeu os valores acima das cotas 28,62 metros e 30,2 metros (Telles, 2002). Este procedimento foi feito para os dois modelos, resultando em quatro imagens, duas para ASTER e duas para TOPODATA.

O procedimento adotado para o cálculo das áreas foi primeiro transformar as imagens binárias em arquivos vetoriais poligonais *shapefile* (Esri, 1998) mantendo na *shapefile* os atributos 0 e 1 para as respectivas feições separadas. Em seguida foi feita a transformação do sistema de coordenadas para o sistema métrico UTM (possibilitando o cálculo de áreas em km^2) que acarreta a modificação da área de grandes regiões, pois transforma-se a superfície terrestre, que é curva, em um plano (causando diferença em sua área). As áreas calculadas também podem ser diferentes em diferentes trabalhos devido aos parâmetros de transformação entre DATUM (neste utilizou-se o WGS84).

Em seguida calculou-se a área e perímetro dos valores 1 e 2, chegando assim nos resultados, que serão apresentados a seguir.

3. Resultados e Discussão

A Figura 4 mostra a espacialização das diferentes faixas de declividade pelos Modelos Digitais de Elevação (MDE) ASTER GDEM (Figura 4(a)) e pelo TOPODATA (Figura 4(b))

no território do município de Pedro Osório/RS. Nota-se visualmente uma diferença expressiva da declividade nas duas imagens, sendo a TOPODATA (Figura 4(b)) com melhor visualização de drenagem e com a declividade mais suavizada em toda a área (mais acentuada na parte oeste e central do mapa). Já a imagem ASTER GDEM (Figura 4(a)) mostra uma diversificação da declividade mais acentuada em toda a área, não sendo possível visualizar as drenagens com a mesma facilidade que na imagem TOPODATA (Figura 4(b)).

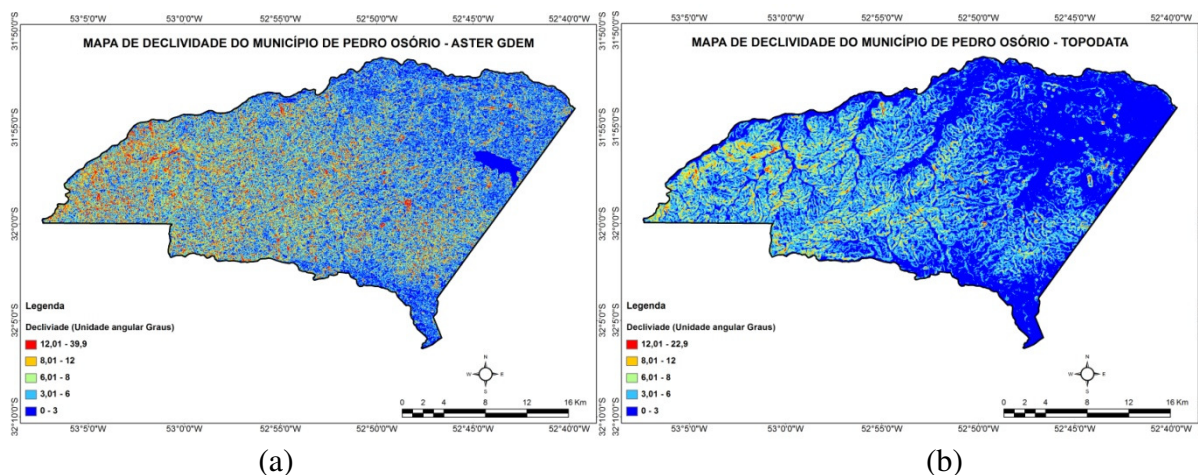


Figura 4. Mapas das diferentes faixas de declividade da área territorial do município de Pedro Osório/RS pelos MDEs ASTER GDEM (a) e TOPODATA (b).

Na Tabela 1 verifica-se em números o que é mostrado na Figura 4. A área total com declividade de zero a três graus é o dobro na imagem TOPODATA (51%) em relação a imagem ASTER GDEM (25%), sendo que a imagem ASTER GDEM apresenta áreas maiores com maior declividade do que a imagem TOPODATA.

Tabela 1. Área de diferentes faixas de declividade do município de Pedro Osório/RS, calculadas pelas imagens TOPODATA e ASTER GDEM.

ASTER GDEM			TOPODATA		
Declividade (graus)	Área (km ²)	Área (%)	Declividade (graus)	Área (km ²)	Área (%)
0-3	149,3	25,0	0-3	304,9	51,0
3-6	232,9	38,9	3-6	213,3	35,7
6-8	97,7	16,3	6-8	56,7	9,5
8-12	92,2	15,4	8-10	17,4	2,9
12-39,9	26,1	4,4	10-22,9	5,6	0,9

A Figura 5 mostra os mapas de área de inundação na cota 28,62 m (Telles, 2002) pelos MDEs ASTER GDEM (Figura 5 (a)) e TOPODATA (Figura 5 (b)) e a Tabela 2 seus respectivos valores. Nota-se que o MDE ASTER GDEM obteve uma maior área de inundação, mais não significativa (0,6 % a mais), na maior cota observada (28,62 m, segundo Telles, 2002) em relação ao MDE TOPODATA.

A Figura 6 mostra os mapas de área de inundação na cota de 30,2 m (calculada para o tempo de retorno de 100 anos, segundo Telles, 2002) pelos MDEs ASTER GDEM (Figura 6 (a)) e TOPODATA (Figura 6 (b)) e a Tabela 2 seus respectivos valores. Nota-se que o MDE ASTER GDEM obteve uma área de inundação maior, representando 1,1 % a mais, na cota calculada para um tempo de retorno de 100 anos (30,2 m, segundo Telles, 2002) em relação ao MDE TOPODATA.

Em um estudo sobre comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER, Marques et al. (2011) também apontam diferenças expressivas nas redes de drenagem extraídas a partir dos distintos MDE, demonstrando que cabe critério ao usuário ao aplicar esses modelos, além da utilização de alguma fonte complementar de dados para verificar a acurácia dos resultados. Entretanto houve um ganho significativo no detalhamento da rede de drenagem no modelo com pixel de 30 m, sendo que o modelo TOPODATA se mostrou mais acurado.

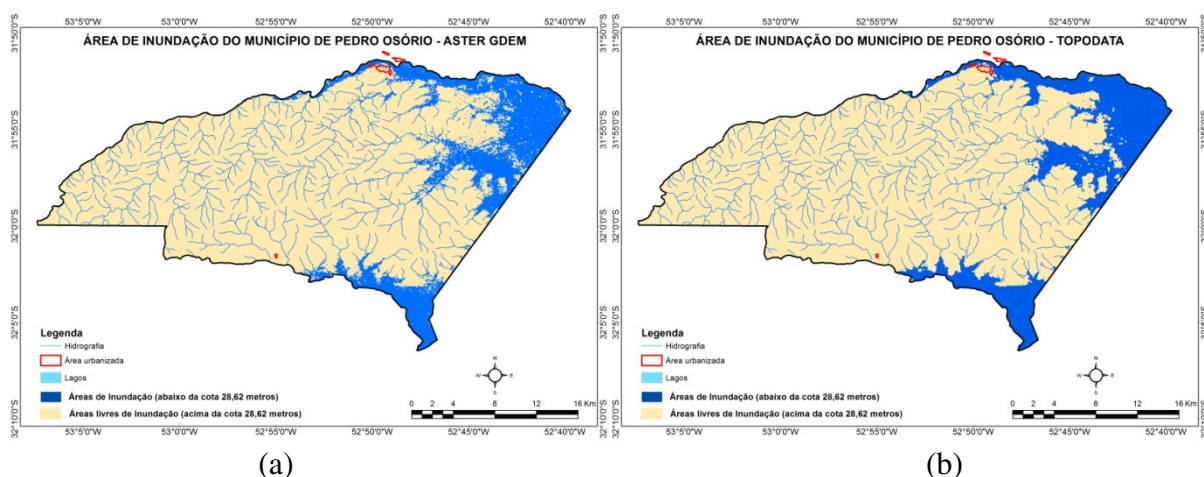


Figura 5. Área de inundação com cota 28,62 m (maior cota de inundação registrada segundo Telles, 2002) no território do município de Pedro Osório/RS pelos MDEs ASTER GDEM (a) e TOPODATA (b).

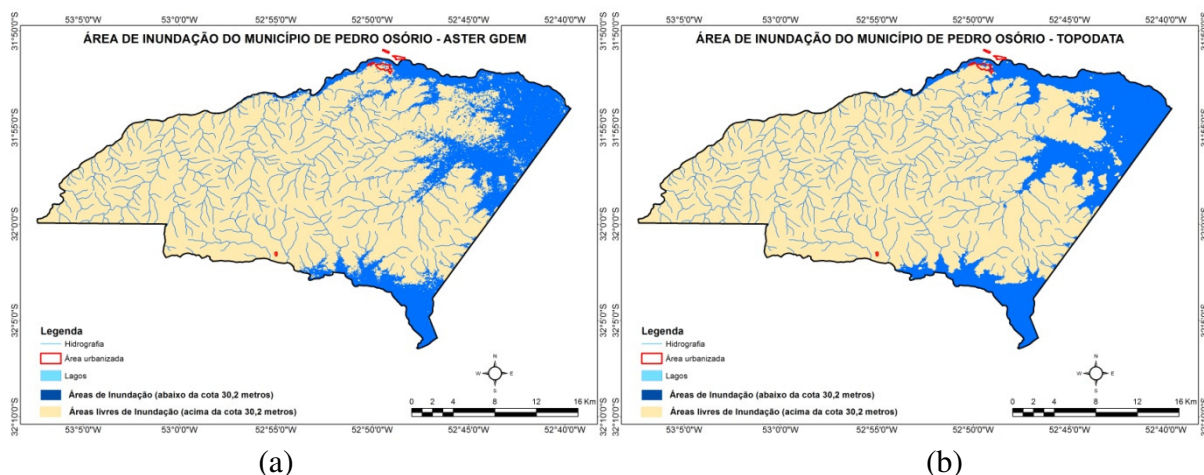


Figura 6. Área de inundação com cota de 30,2 m (calculada com tempo de retorno de 100 anos, segundo Telles, 2002) no território do município de Pedro Osório/RS pelos MDEs ASTER GDEM (a) e TOPODATA (b).

Tabela 2. Área da maior cota de inundação observada e calculada para um tempo de retorno de 100 anos (Telles, 2002) para o município de Pedro Osório/RS.

Faixa Cota (m)	Áreas (km ²)		Perímetros (km)		Áreas (%)		Perímetros (%)	
	ASTER	TOPODATA	ASTER	TOPODATA	ASTER	TOPODATA	ASTER	TOPODATA
até 28,62	100,2	96,9	937,2	288,2	16,8	16,2	49,8	49,7
acima de 28,62	497,8	501,1	946,3	291,2	83,2	83,8	50,2	50,3
até 30,2	115,2	108,6	948,3	299,3	19,3	18,2	50,0	50,2
acima de 30,2	482,8	489,4	946,5	296,8	80,7	81,8	50,0	49,8

4. Conclusões

A avaliação do potencial do uso dos MDEs dos produtos ASTER GDEM e TOPODATA, para caracterização de áreas de inundação, constatou para o município (que possui área total em torno de 600 km²) que, quanto maior a cota de inundação para cálculo maior será a diferença de área inundável entre os MDEs utilizados, ficando o ASTER GDEM sempre com a maior área.

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

ANA. Agência Nacional das Águas. Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 11 de nov. de 2012.

Andrades Filho, C.O.; Zani, H.; Gradella, F.S. Compatibilidade da rede de drenagem obtida através de dados SRTM, ASTER e carta topográfica DSG: estudo de caso no Pantanal de Aquidauana. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá, MS. **Anais...**, São José dos Campos: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. v. 1. p. 51-61. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/cd/pdf/p118.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

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 – 30 abril 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 18 ago. 2012.

ERSDAC. Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ASTER GDEM). 2012. Disponível em: <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>>. Acesso em: 19 de julho de 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/>. Acesso em: 23 de outubro de 2010.

Marques, H. G.; Penatti, N. C.; Paranhos Filho, A. C.; Froehlich, O.; 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 - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, **Anais...**, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 1271-1278. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1263.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

Mendes, C. A. B. & Cirilo, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 536 p., 2001.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 19 de julho de 2012.

Oliveira, G. G.; Saldanha, D. L.; Guasselli, L. A. Espacialização e análise das inundações da bacia hidrográfica do rio Cai/RS. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 413-427, 2010. Disponível em: <http://drifte.rc.unesp.br/revistageociencias/29_3/12_Oliveira.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2012.

Rodrigues, T. L.; Debiasi, P.; De Souza, R. F. Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...** Recife/PE. 27-30 de julho de 2010. p. 1-5. Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/Cartografia/A_17.pdf>. Acesso em 19 ago. 2012.

Schunemann, F. F.; Novacovski, C. Avaliação visual de modelos 3D gerados através de produtos ASTER GDEM, SRTM e carta topográfica em relação a fotos do relevo. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, **Anais...**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5737-5744. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.05.19.13/doc/p1252.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2012.

Senna, M. C. dos S.; Silva, C. V. de A.; Da Silva, D. C. Ortoretificação de imagem CBERS-2B utilizando o MDE do ASTER. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, **Anais...**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2692-2699. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1485.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

Telles, R. M. Inundações urbanas nos municípios de Pedro Osório e Cêrrito. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFURGS, 2002. 74 p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6144/000481447.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

USGS. United State Geological Service. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/>>. Acesso em: 19 de julho de 2012.

Yamaguchi, Y.; Fujisada, H.; Kudoch, M.; Kawakami, T.; Tsu, H.; Kahle, A. B; Pnief, M. ASTER instrument characterization and operation scenario. **Advances in Space Research**, v 23, n. 8, p. 1415–1424, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117799002938>>. Acesso em: 18 nov. 2012.