

Metodologia de delimitação de áreas de drenagem por trecho de curso d'água coincidente com a cartografia em diferentes escalas utilizando modelo digital de elevação

Geraldo José Lucatelli Dória de Araújo Júnior¹

Márcio Bomfim Perreira Pinto¹

Agustin Justo Trigo¹

Alexandre do Prado¹

Alexandre de Amorim Teixeira¹

Fábio Vicente Ferreira¹

Aldir José Borelli¹

Marco Antônio Silva¹

Morris Scherer-Warren¹

Jeromilto Martins Godinho¹

¹ Agência Nacional de Águas - ANA

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B - 70610-200 - Brasília - DF, Brasil
{geraldolucatelli, marcio.pinto, agustin.trigo, aleprado, alexandre.amorim, fabio.ferreira,
aldir.borelli, marco, morris, miltinho}@ana.gov.br

Abstract. This text describes a process for obtaining watershed polygons derived from DEMs ASTER and SRTM correlated to previously available hydrographic vectors. The study evaluated several aspects of the subject, such as surface and altimetry accuracy, as well as the adherence to 1:1.000.000, 1:250.000 and 1:100.000 scale cartography. The DEM evaluations were performed in one selected area of the Verde Grande river basin, and the methodology for watershed delimitation at 1:1.000.000 scale was defined at Paraíba do Sul river basin. The results indicate that synthetic hydrography derived from DEMs ASTER and SRTM, with additional stream burning operations, show strong consistency with the vectorial stream network from topographic charts. The study also correlates the results of each DEM with vector data at distinct scales, showing that adopted procedures achieve excellent outputs in watershed delimitation at the millionth scale. This allows its use in other scales of hydrographic representation, once the proper DEM/scale correlation is observed.

Palavras-chave: Modelo Digital de Elevação (MDE), SRTM, ASTER, Área de Drenagem, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento,

1. Introdução

A água é um bem de domínio público, um recurso natural não renovável que tem valoração econômica, cuja importância é fundamental para o desenvolvimento de um País e/ou região. Os modelos de gestão dos recursos hídricos levam em consideração diversas áreas temáticas como, o Planejamento e Estudos Preliminares, Projetos e Programas, Apoio e o Fomento aos Comitês, os Usos Múltiplos, a Fiscalização, a Outorga e a Cobrança, a Medição de Parâmetros Hidrológicos e a Disponibilização de Dados e Informações (ANA, 2009). A estruturação de um Sistema de Informações Geográficas que considere todos os aspectos da gestão em recursos hídricos tem como dado base o curso d'água, devendo estar agregado a este, informações como: sua identificação que deve ser única (codificação) para se diferenciar dos demais cursos, toponímia, comprimento, área de drenagem, área a montante, pontos de captação com os respectivos usuários, entre outras.

A codificação de trecho de curso d'água utilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) é baseada no método de Otto Pfafstetter (Ottocodificação) que considera como principal parâmetro para definição dos códigos, a área de drenagem (Teixeira, A. A. et. al.,

2007). A área de drenagem de um determinado curso d'água e/ou conjunto de cursos d'águas conectados é o principal parâmetro utilizado em várias outras aplicações hidrológicas, como: cálculo da disponibilidade hídrica, modelagem hidrodinâmica, definição de domínio, definição das Unidades de Planejamento Hidrológico, entre outras. A sua boa definição em termos de formato, perímetro e área, interfere diretamente nos resultados destas aplicações, sendo assim é fundamental a definição de metodologias que priorizem esses aspectos (Villela, S. M. & Mattos, A., 1975).

Os Modelos Digitais de Elevação (DEM) extraídos das cartas topográficas e ou gerados por meio de imageadores remotos são à base de dados dos principais métodos que definem as áreas de drenagem (Medeiros, L. C. et al., 2009). Há métodos mais imprecisos aplicados à base de dados em escalas cartográficas mais genéricas, onde a representação planimétrica dos cursos d'água não é precisa, podendo destacar o método de polígono de Tirsén ou método de equidistância (Teixeira, A. A. et al., 2007).

A utilização de sensores remotos embarcados em plataformas orbitais permite a visualização sinóptica e a extração de diversas feições na superfície. Dentre essas feições podemos destacar o mapeamento de relevo e/ou obtenção de dados de elevação que irá variar de acordo com o tipo de sensor, banda espectral e resolução espacial utilizada. Os principais levantamentos realizados em escala global são: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e o ASTER DEM (Advance Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Vital, S. R. O. et al., 2010). Outros dados foram gerados a partir destes MDE's, agregando informações geomorfológicas e procedimentos de interpolação, onde se destaca o TOPODATA.

O objetivo principal deste trabalho é definir uma metodologia de extração de área de drenagem por meio da utilização de MDE, tendo como princípio a coincidência da hidrografia sintética gerada pelos algoritmos com os vetores definidos pela cartografia existente e em diversas escalas (1:1.000.000, 1:250.000 e 1:100.000).

A primeira área de trabalho foi definida com base na variação do relevo e disponibilidade dos dados, tendo como objetivo verificar a adequação dos MDE's à cartografia existente em diversas escalas e condições de relevo. Ou seja, uma área que apresentasse áreas planas, onduladas e mais movimentadas, com uma base vetorial nas escalas a serem analisadas e com os MDE's definidos (SRTM, ASTER e TOPODATA). A localização foi definida em uma área na bacia hidrográfica do rio Verde Grande, entre as coordenadas de longitude 44° 01' 26"W e 43° 05' 49"W e latitude 15° 31' 36"S e 16° 11' 54"S. Uma segunda área foi selecionada, a bacia do rio Paraíba do Sul, cujo objetivo foi elaborar uma metodologia de utilização de MDE para geração de áreas de drenagem por trecho de curso d'água coincidente com a cartografia em uma escala específica, de acordo com os resultados estabelecidos na primeira área de estudo. A segunda área localiza-se entre as coordenadas de longitude 46° 30' 05"W e 41° 01' 27"W e latitude 20° 22' 45"S e 23° 49' 58" S (Figura 1).

2. Material e Método

Foram utilizados neste trabalho os seguintes materiais:

- Scanner HP designjet 4200 e Personal Computer DELL Precision 470;
- software's ArcGIS ArcINFO/ESRI versão 9.3; extensão ArcHydroTools versão 1.3; Sultracer/Sulsoft;
- cartas topográficas: bacia do rio Verde Grande, 1:100.000.000 (SD-23 e SE-23) 1:250.000 (MI's 396, 397, 412 e 413) e 1:100.000 (MI's 2223, 2224, 2267 e 2268); bacia do rio Paraíba do Sul, 1:1.000.000 (SF-23 e SF-24) e 1:250.000 (MI's 466, 467, 478, 479, 480, 489, 490, 491, 500 e 501) (IBGE, 2001);

- Base de dados de Municípios do IBGE e bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH);
- MDE's ASTER/NASA, TOPODATA/Inpe e SRTM/NASA.

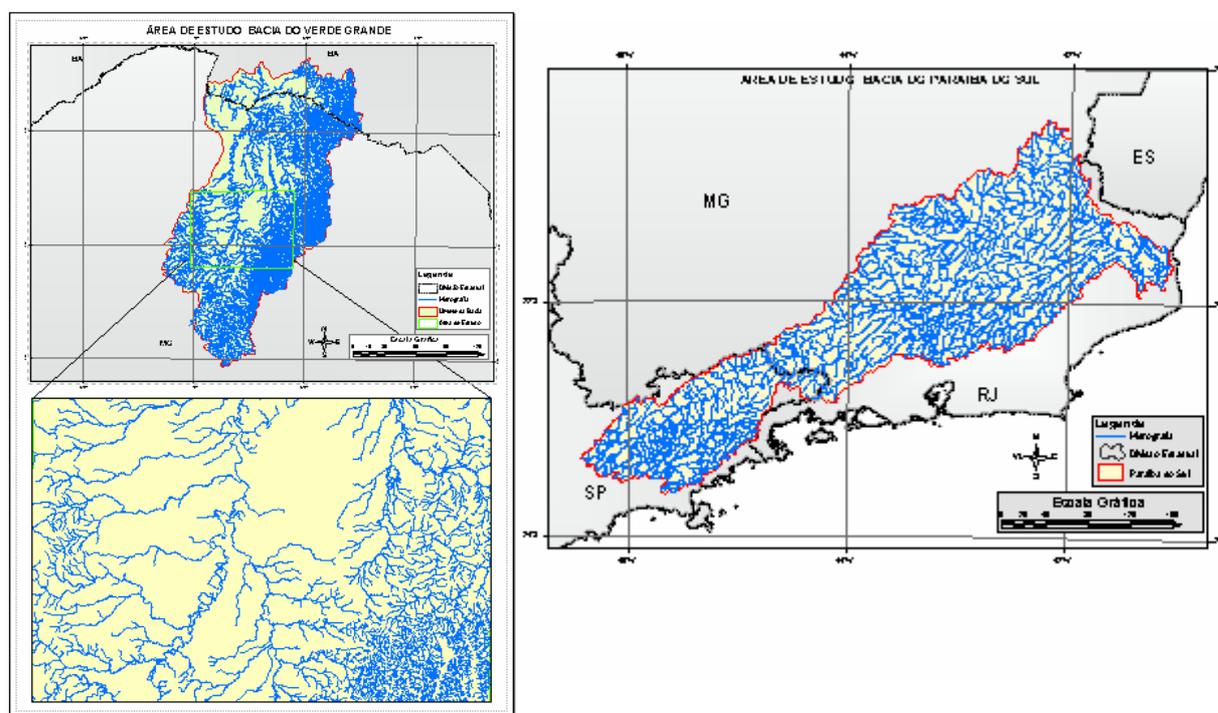


Figura 1 – Localização das áreas de estudo.

A metodologia foi dividida em três etapas (figura 2), que foram:

- Primeira etapa: definição das áreas de interesse, preparação dos dados de hidrografia com a rasterização, georreferenciamento e vetorização da hidrografia nas escalas definidas, recorte dos MDE's de acordo com as áreas de interesse e com um "buffer" de 10 km;
- Segunda etapa: realização de testes de precisão planialtimétrica e aderência dos MDE's a cartografia em diversas escalas;
- Terceira etapa: tendo como base os resultados da primeira e segunda etapa foi elaborada uma metodologia que por meio da utilização de MDE defina a delimitação de áreas de drenagem por trecho de curso d'água coincidente com a cartografia existente para a escala ao milionésimo, escala utilizada para a base de dados geográficos oficial da ANA.

3. Resultados

Como primeiros resultados foram checados os valores de altimetria dos MDE's, levando em consideração a amplitude altimétrica, ou seja, a diferença entre a maior e menor elevação apresentada, e a leitura em 15 pontos específicos em áreas planas, onduladas e movimentadas, totalizando 45 pontos, que foram comparadas com os dados apresentados pela cartografia em diferentes escalas, gerando um percentual de acerto (tabela 1).

Tabela 1 - Amplitude altimétrica e percentual de acerto na leitura de pontos específicos, considerando uma vizinhança de dois pixels, para uma região na bacia do rio Verde Grande.

MDE	Maior elevação (m)	Menor elevação (m)	Amplitude (m)	Percentual de acerto das leituras específicas por escala (%)		
				1:1.000.000	1:250.000	1:100.000
ASTER	1798	300	1498	90	95	97
Topodata	226	77	149	0	0	0
SRTM	1798	418	1380	94	95	92

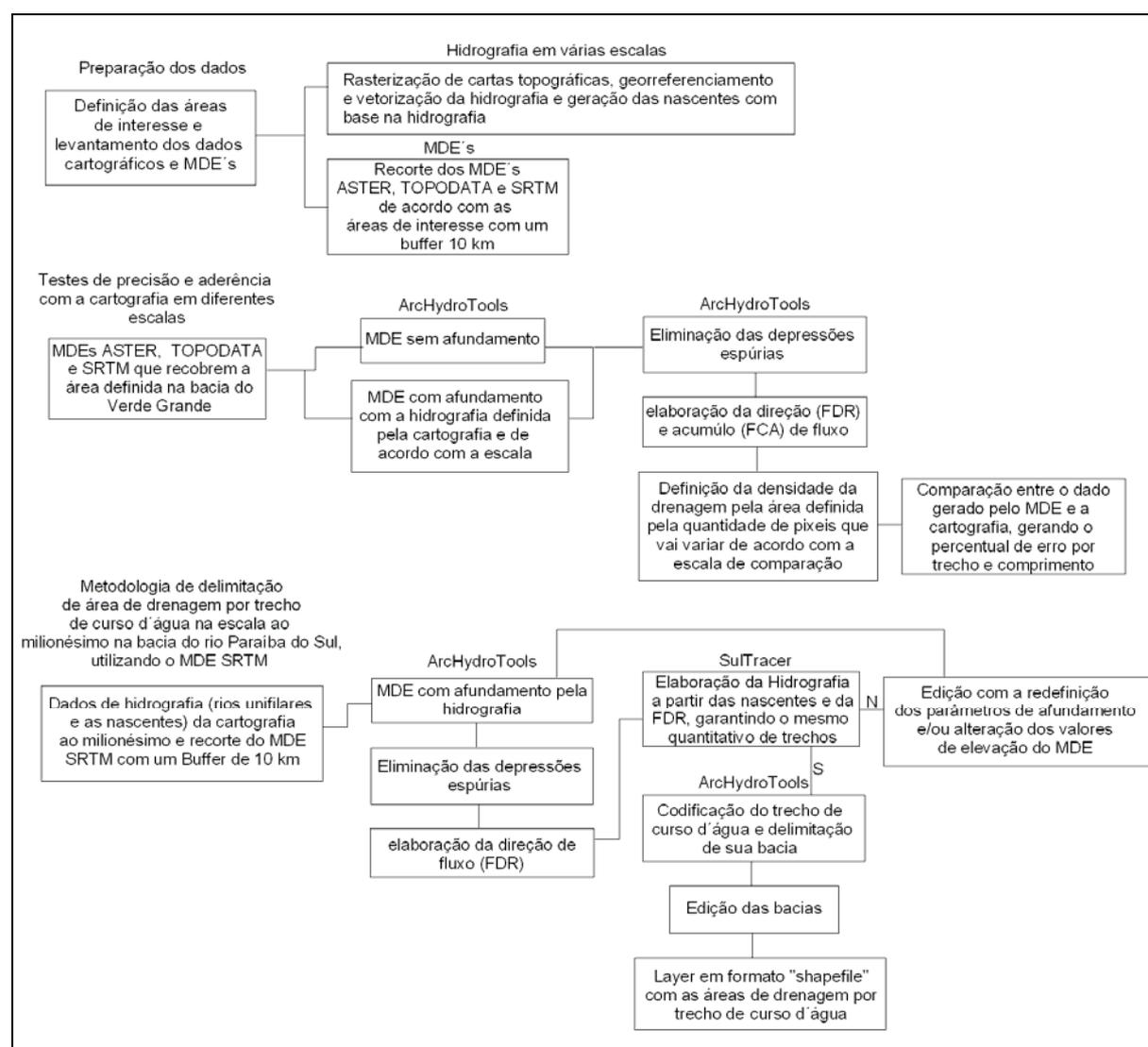


Figura 2 – Fluxograma da Metodologia

Estes dados mostram uma boa aderência, em termos altimétricos, dos MDE's ASTER e SRTM com a cartografia em diferentes escala, enquanto o MDE TOPODATA não teve a mesma performance, não sendo considerado no prosseguimento do trabalho. Ressalta-se que o MDE ASTER, cujo imageamento ocorre na região espectral do visível, apresenta algumas

altimetrias que representam topo de nuvens, sendo esta uma limitação quando da sua utilização em grandes áreas, onde a possibilidade de ocorrência de nuvens é maior.

Outra análise foi averiguar a relação escala de mapeamento com o MDE mais adequado, analisando os resultados da cartografia vetorial das cartas topográficas em diferentes escalas com a hidrografia sintética gerada por meio do MDE original e pelo MDE ajustado com a cartografia vetorial, ou seja, com o afundamento prévio do MDE utilizando o dado vetorial da cartografia (tabela 2). A densidade de drenagem que é o resultado propriamente dito, para efeitos de comparação com a hidrografia vetorial da cartografia, é efetuada pela extensão “ArcHydroTools” levando em consideração a quantidade de pixels por região. Apresentando uma relação inversa onde, quanto maior a densidade da drenagem, menor a quantidade de pixels por região considerada. Sendo assim, foi considerada uma quantidade de pixels por região maior para a escala ao milionésimo e diminuindo até a escala 1:100.000, compatibilizando o resultado gerado a escala de comparação.

Tabela 2 – Percentagem de erro entre a hidrografia sintética, gerada com a utilização dos MDE’s originais e com afundamento, e a hidrografia vetorial oriunda das cartas topográficas.

Tratamentos	Comprimento de trechos		Percentagem de erro Comprimento
	Total (cartografia vetorial)	Diferença (cartografia vetorial x sintética)	
srtm. X cart. 1.000.000	1367175,165	372242,2764	27,2271093
srtm c/ afundamento X cart. 1.000.000	1367175,165	8989,581019	0,657529573
srtm X cart. 250.000	2692490,722	302970,134	11,252409
srtm c/ afundamento X cart. 250.000	2692490,722	35818,54936	1,330312824
srtm X cart. 100.000	4692311,964	837829,1378	17,85535881
srtm c/ afundamento X cart. 100.000	4692311,964	285848,5119	6,091847987
aster X cart. 1.000.000	1367175,165	1578221,987	115,4367068
aster c/ afundamento X cart. 1.000.000	1367175,165	18241,47177	1,334245402
aster X cart. 250.000	2692490,722	2344577,005	87,07836895
aster c/ afundamento X cart. 250.000	2692490,722	132336,0757	4,915005819
aster X 100.000	4692311,964	856157,2048	18,24595661
aster c/ afundamento X cart. 100.000	4692311,964	730808,7065	15,5745976

Os resultados indicam que os MDE’s com a operação prévia de afundamento por meio da utilização da hidrografia vetorial, gerada a partir das cartas topográficas, e posterior geração da hidrografia sintética pelo MDE, apresentam as menores percentagens de erro. Significa que, se a estratégia é gerar a hidrografia a partir do MDE, e esta deve representar ou coincidir com a hidrografia vetorial cartográfica, a operação de afundamento prévio é obrigatória. Observa-se que nos MDE’s com afundamento houve um aumento na percentagem de erro da escala ao milionésimo para a 1:100.000. Ressalta-se que a densidade da hidrografia aumenta no mesmo sentido, da escala ao milionésimo para a 1:100.000. Era de se esperar que as maiores quantidades de erros fossem observadas nas escalas mais genéricas, devido às imprecisões de representação da hidrografia, ou seja, o parâmetro que realmente influenciou nos resultados foi à operação de afundamento com a hidrografia vetorial extraída da cartografia e a maior densidade da drenagem.

Com os MDE’s originais os resultados mostram que o MDE ASTER é mais adequado a cartografia na seguinte seqüência: escala 1:100.000, 1:250.000 e ao milionésimo. O MDE

SRTM é mais adequado a cartografia na escala 1:250.000, depois a 1:100.000 e por último ao milionésimo. Indicando que a cartografia planimétrica na escala ao milionésimo com suas imprecisões, apresenta os maiores erros ou piores resultados. A resolução espacial ou tamanho do pixel dos MDEs foi o parâmetro que definiu o melhor ajustamento com a cartografia nas escalas analisadas, ou seja, o ASTER com pixel de 30 m se ajusta melhor a escala 1:100.000 e o SRTM com pixel de 90 m se ajusta melhor a escala 1:250.000.

Quanto à variação do relevo, foi realizada uma checagem visual nos resultados e observa-se que nas áreas planas a uma maior incidência de erros, pois tanto os MDE's, quanto os algoritmos que definem a hidrografia sintética, tem restrição de representação destas áreas.

Com base nos resultados relatados e tendo como desafio a elaboração da metodologia o primeiro passo foi desenvolver uma rotina que garantisse que a hidrografia sintética, elaborada pelos algoritmos, apresentasse a mesma quantidade e formato da hidrografia vetorial cartográfica. Com o apoio da empresa SULSOFT foi desenvolvida a rotina SulTracer, em IDL Machine, que gera a hidrografia sintética a partir dos dados de entrada, direção de fluxo (FDR), gerado pelos algoritmos da extensão “ArcHydroTools” (figura 2), e das nascentes que foram extraídas do dado vetorial da cartografia. Com esta operação não é mais necessário utilizar as rotinas de fluxo acumulado e definição da drenagem a partir da quantidade de pixels, etapas previstas na extensão “ArcHydroTools”. Os testes realizados com a rotina SulTracer foram extremamente satisfatórios, porém em algumas situações deve-se efetuadas edições como: o reposicionamento de nascentes, aumentar o parâmetro de afundamento ou alterar o valor de elevação do MDE.

Tendo como base o fluxo metodológico (figura 2) e os resultados gerados anteriormente, o MDE utilizado para a delimitação das áreas de drenagem foi o SRTM com o procedimento de afundamento. Não houve a necessidade de edição do arquivo resultante da rotina SulTracer e seguindo o fluxo metodológico foram geradas as áreas de drenagem. Como o SRTM tem maior aderência ao dado vetorial da cartografia na escala 1:250.000 e o dado utilizado na bacia é ao milionésimo, houve a ocorrência de erros de fácil edição, devido a geração de divisores entre o vetor utilizado para o afundamento, que tem um imprecisão planimétrica devido a escala ao milionésimo, e a representação do rio pelo MDE SRTM. (figura 3)

Após a edição, foi gerado o layer com as áreas de drenagem por trecho de curso d'água da bacia em questão.

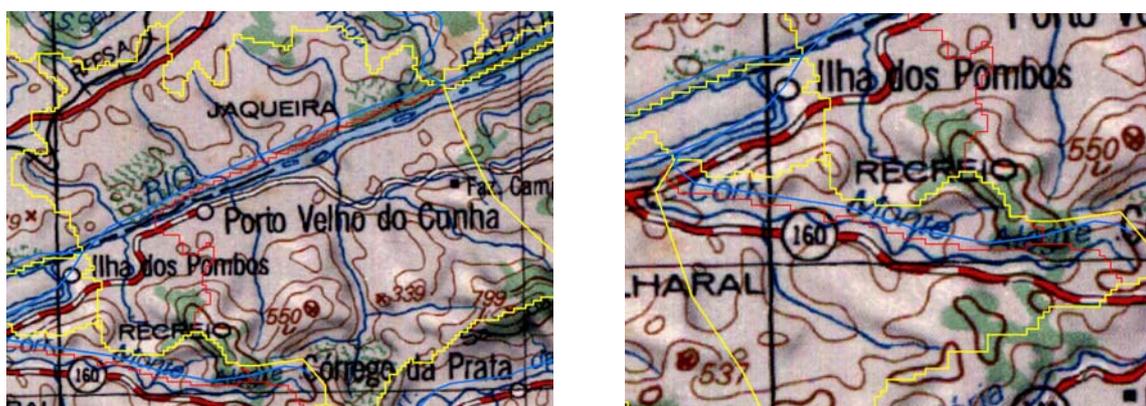


Figura 3 – o traço azul indica a cartografia vetorial ao milionésimo que compõe a operação de afundamento, o traço vermelho mostra a delimitação da bacia ou o divisor de água definido pela extensão “ArcHydroTools” e o mapa de fundo está na escala 1:250.000 que tem ótima aderência com o MDE SRTM indicando onde o MDE representa o rio.

4. Conclusões

Os MDE's ASTER e SRTM quando comparados aos dados das cartas topográficas nas escalas consideradas neste trabalho apresentaram uma boa aderência altimétrica. Na planimetria os resultados indicam boa aderência as escalas 1:100.000 e 1:250.000, sendo a exceção a escala ao milionésimo, pois esta tem limitação quanto a representação da hidrografia, tanto no posicionamento, quanto nas principais feições.

A metodologia desenvolvida garantiu a unicidade da hidrografia sintética, gerada com a utilização da extensão ArcHydroTools e rotina SulTracer, com a hidrografia vetorial cartográfica, elaborando como resultados para a escala ao milionésimo, áreas de drenagem com poucas edições.

A replicação do método para outras escalas pode ser realizada desde que se considere a aderência dos MDE's a cartografia existente, ou seja, pelos resultados apresentados neste trabalho recomenda-se utilizar o MDE SRTM para as escalas ao milionésimo e 1:250.000 e o MDE ASTER para as escalas 1:100.000 e 1:250.000.

5. Referências Bibliográficas

ANA - Agência Nacional de Águas. **Águas: Fatos e Tendências**, ANA e CEBDS, 2 Ed., 2009, 29 p.

Araújo, E. P.; Teles, M. G. L.; Lago, W. J. S. Delimitação das bacias hidrográficas da ilha do Maranhão a partir de dados SRTM, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais**. INPE, p. 4631-4638

Galvão, W. S.; Meneses, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais**. INPE, p. 2511-2518

Gomes, T. S.; Lobão, J. S. B. Delimitação de Sub-bacias a partir do uso de imagens SRTM/NASA: um estudo da Bacia do rio Jacuípe-BA, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais**. INPE, p. 3841-3848

IBGE **Cartas Topográficas** diversas escalas, 2001 (1:100.000, 1:250.000 e 1:1.000.000)

Medeiros, L. C.; Ferreira, N. C.; Ferreira, L. G. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/02, 2009, P. 138-151

Teixeira, A. A.; Prado, A.; Silva, M. A.; Scherer-Warren; Hauschild, R. M. P. R.; Lima e Sousa, F. M.; Campos Neto, V. S. Topologia Hídrica: uma proposta para gestão de recursos hídricos utilizando sistema de informações geográficas, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais**. INPE, p. 3597-3605

Villela, S. M.; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975 245p.

Vital, S. R. O.; Silveira, T. A.; Alencar, H. M. Q.; Ferreira, B. Usos de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil, In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. **Anais**. UFPE, P. 001-005_