

Condicionamento hidrográfico em Modelos Digitais de Elevação: procedimentos e importância.

Aline Daniele Jacon¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
aline@dsr.inpe.br

Resumo: Objetivou-se com este trabalho a construção e sistematização de um modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC), assim como avaliar a importância do condicionamento hidrográfico na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa-MG. Essa avaliação foi realizada comparando o MDE e o MDEHC, gerados a partir de dados do sensor VNIR do ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), com o modelo gerado a partir de cartas topográficas do IBGE. A análise das variações indica que os parâmetros morfométricos resultantes do MDEHC ASTER foram próximos comparados ao MDEHC IBGE, apresentando as maiores variações na declividade média da bacia (13,76%) e no comprimento do rio principal (7,78%). A comparação de dados MDE ASTER com MDEHC IBGE resultou em variações consideráveis: declividade média (18,58%), comprimento total do rio (7,44%), comprimento do rio principal (5,19%) e densidade de drenagem (7,51%). Esses resultados demonstram a importância do condicionamento hidrográfico em bacias e viabilidade da utilização do MDEHC ASTER como uma alternativa no manejo de bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: ASTER, bacia hidrográfica, parâmetros morfométricos.

1. Introdução

Estudos que envolvem análises ambientais, principalmente hidrológicas, estão se tornando cada vez mais precisos com avanço dos sistemas de informações geográficas (SIGs). Os SIGs oferecem um ambiente interativo de trabalho, no qual um grande número de bases de dados robustas podem ser analisadas ao mesmo tempo, proporcionando resultados com boa precisão, acurácia e confiabilidade (Lana et al., 2011).

Nesse sentido, um dos resultados obtidos por meio da utilização dos SIGs são os modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDEHC). Esses modelos permitem que as delimitações automáticas das bacias sejam feitas com maior precisão, pois consideram os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento (Ribeiro, 2005). Eles também apresentam uma forte semelhança entre a hidrografia real e a drenagem derivada numericamente, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiem o trajeto do escoamento de água superficial (Hutchinson, 1989 apud Machado et al., 2010).

Os MDEHCs têm uma grande importância em estudos sobre delimitação de áreas de preservação permanente, estudos hidrológicos em bacias hidrográficas, monitoramento de habitats de fauna e flora, monitoramento de incêndios, estudos geomorfológicos, pesquisas em pedologia, dentre outros (Lana et al., 2011).

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho a construção e sistematização de um modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado, assim como avaliar a importância do condicionamento hidrográfico na caracterização morfométrica da bacia do ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa-MG. Essa avaliação foi realizada comparando o MDE e o MDEHC, gerados a partir de dados do sensor VNIR do ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), com o modelo gerado a partir de cartas topográficas do IBGE.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na sub-bacia do ribeirão São Bartolomeu que está localizada no município de Viçosa- MG, entre os paralelos 20°44' e 20°50' latitude sul e os meridianos 42°51' e 42°53' longitude oeste (Figura 1), e está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Machado, 2010).

A bacia tem uma orientação no sentido sul-norte. O limite da bacia na porção sul é com os municípios de Paula Cândido e Coimbra e ao norte no bairro Barrinha do município de Viçosa, onde deságua no Rio Turvo Sujo (Portes, 2008).

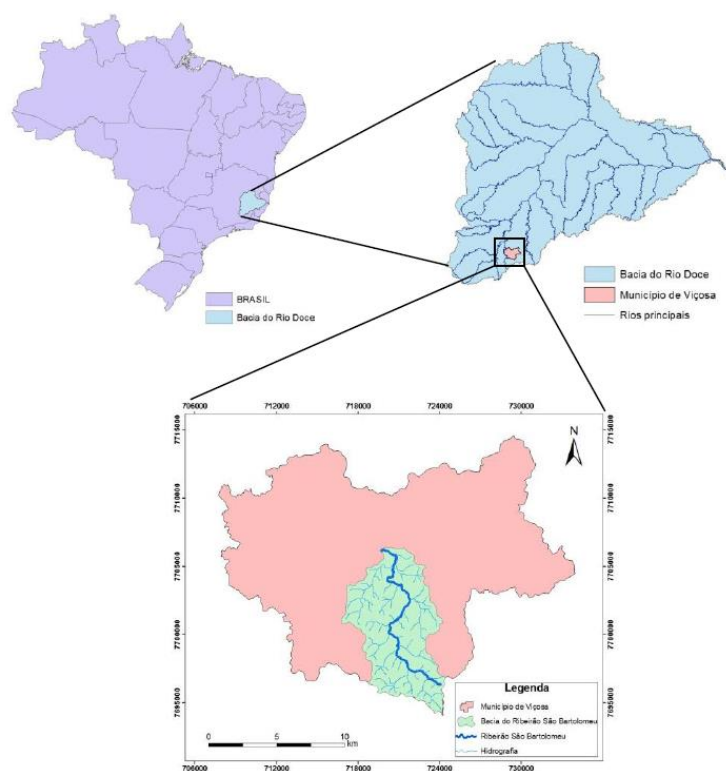


Figura 1. Localização geográfica da bacia do ribeirão São Bartolomeu.
Fonte: Guedes et al., 2011.

2.2. Processamento dos dados obtidos por meio de cartas topográficas IBGE.

Para a obtenção do MDEHC, considerado como padrão neste trabalho, foram utilizados dados altimétricos e hidrográficos da bacia do Ribeirão São Bartolomeu a partir do georreferenciamento e vetorização de duas cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50.000, em sistema de coordenadas projetadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 23 sul e Datum de referência SAD 69 (South American Datum 1969).

2.2.1. Pré-processamento

2.2.1.1. Dados da hidrografia

Os dados da hidrografia foram inicialmente submetidos a uma série de correções e adequações para satisfazer as exigências impostas pelo procedimento de interpolação (*Topo to Raster*) utilizado no presente trabalho, disponível no software ArcGis 10.0. Este interpolador necessita que a hidrografia seja unifilar, conectada e orientada.

Unifilar: representações de rios em margem dupla deverão ser substituídas por uma linha de centro, não deverá haver polígonos (lagos, brejos) ou ciclos (ilhas) na rede hidrográfica. A figura 2 ilustra a correção de um ciclo presente na hidrografia, vários outros ciclos foram corrigidos, a identificação desses ciclos foi feita com a criação de uma rede geométrica para hidrografia utilizando a ferramenta *Geometric network*. Após a criação da rede um problema de encontrar ciclos foi designado para ser resolvido e com isso identificar todos os ciclos presentes na hidrografia. Com a identificação dos ciclos foi possível a correção com o auxílio de ferramentas de edição.

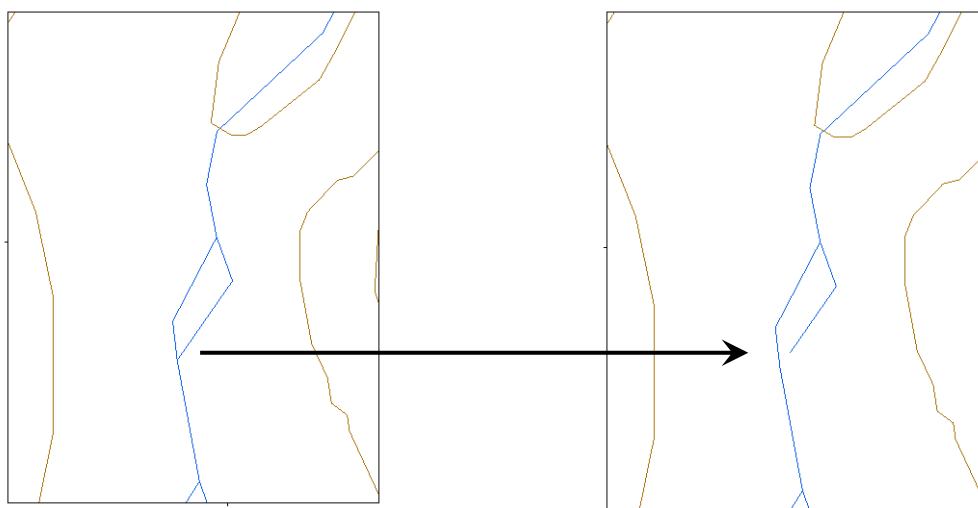


Figura 2. Correção de um ciclo presente na hidrografia.

Conectada: os dados de hidrografia deverão ser inteiramente conectados, com exceção de rios em bacias diferentes que não são naturalmente conectados ou que a magnitude da base de dados de interesse não representa tal conexão. A figura 3 ilustra a correção de um local da hidrografia desconectado. Os locais desconectados também foram identificados com o auxílio da rede geométrica, porém o problema designado para ser resolvido foi: encontre desconectados. Com a identificação dos locais desconectados foi possível a correção com o auxílio de ferramentas de edição.

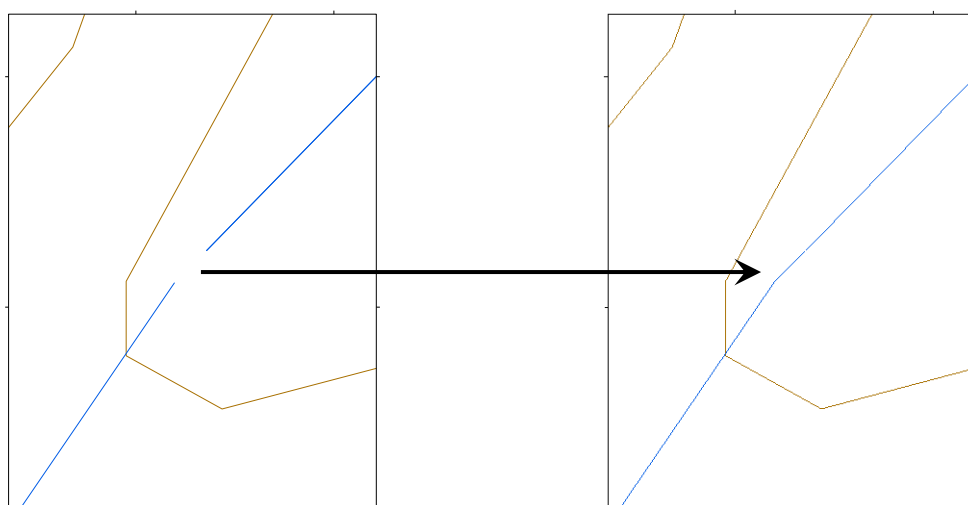


Figura 3. Correção de locais desconectados na hidrografia.

Orientada: cada segmento da hidrografia deverá estar orientada no sentido de escoamento. O primeiro passo para essa tarefa é identificar e criar uma feição de ponto para foz (figura 4).

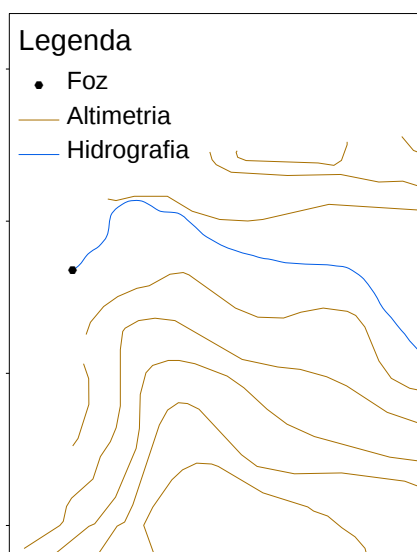


Figura 4. Representação da foz da bacia do Ribeirão São Bartolomeu.

O próximo passo é criar uma rede geométrica relacionando Hidrografia e Foz, sendo que a classe de feição Foz deverá ser classificada como sumidouro (*Sinks*). Para isso no momento de criação da rede na janela de seleção de regras deverá ser atribuído *yes* na coluna *Sources & Sinks* para Foz, e depois na tabela de atributos da Foz a coluna *AncillaryRole* deverá ser preenchida com o número 2, que é o código para sumidouro.

Com a rede criada será possível orientar a hidrografia, essa tarefa será feita com o auxílio da ferramenta *Flow* inicialmente, que direciona o fluxo de escoamento e depois com a Macro *FlipLines*, que direciona o fluxo de escoamento para a direção correta, ou seja, no sentido da foz.

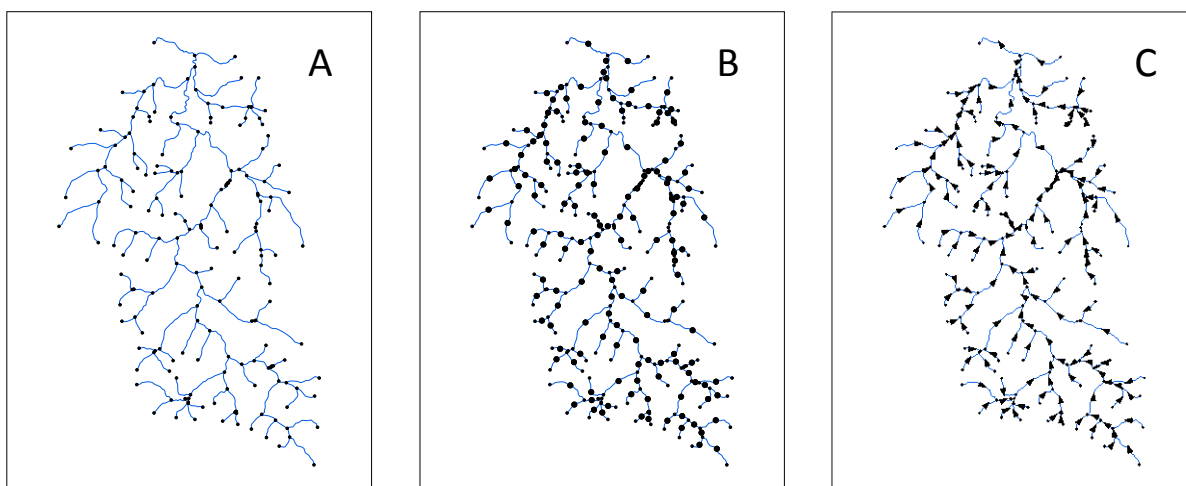


Figura 5. Hidrografia unifilar-conectada (A), hidrografia unifilar-conectada e com sentido de escoamento pendente (B) e hidrografia unifilar-conectada-orientada (C) (sentido de escoamento correto).

2.2.1.1. Dados de altimetria

Os dados altimétricos assim como os hidrográficos devem ser corrigidos quando necessários. Inconsistências assim como ilustrado na figura 6, onde a curva de nível intercepta a hidrografia em mais de um ponto devem ser corrigidas, essa inconsistência representa a hidrografia subindo e descendo níveis de elevação, o que na prática só ocorre com a atuação de outra força além da gravitacional.

A correção deve ser feita de maneira a adequar a altimetria à hidrografia o oposto não é recomendado pelo fato da altimetria ser mais sujeita a erros, pois depende do julgamento do operador no momento de confecção do mapa, diferentemente da hidrografia que na maioria das vezes o operador tem uma referencia visual na confecção do mapa.

De acordo com Ribeiro, (2002), a correção da altimetria deve ser minuciosa, pois o procedimento de interpolação apesar de permitir imposição da drenagem ele é conservador, ou seja, a drenagem não é imposta em locais que violam os dados originais de altimetria, com isso a remoção de depressões espúrias nesses locais podem ser comprometidas.

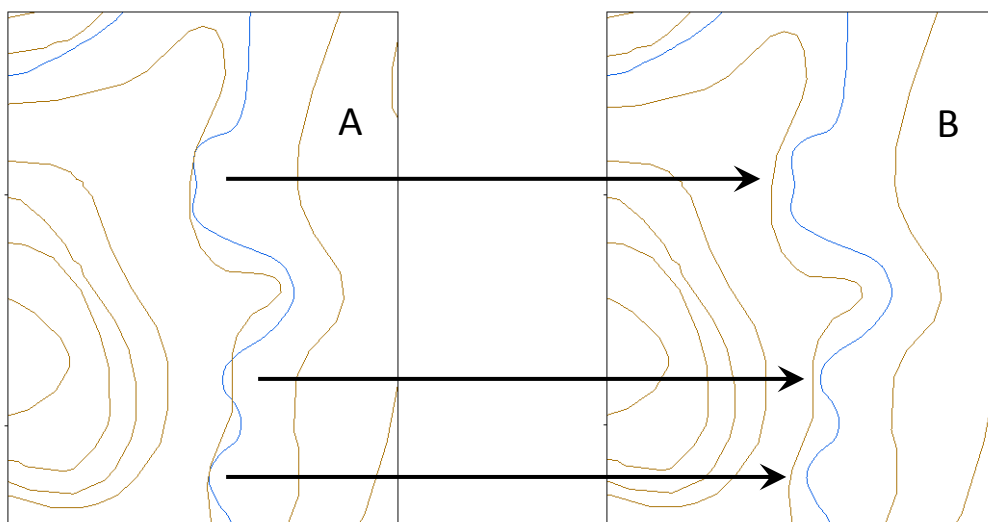


Figura 6. Inconsistências entre altimetria e hidrografia (A), altimetria corrigida (B).

2.2.2. Modelo Digital de Elevação

O modelo digital de elevação foi construído com a ferramenta *Topo To Raster* do ArcGis. O *Topo to Raster* é baseado no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutchinson, (1989), este interpolador é caracterizado pela construção de modelos digitais de elevação hidrologicamente corretos, ou seja, enquanto interpola os valores de elevação impõe algumas restrições como: conectividade da estrutura de drenagem; e correta representação de cristas e cursos d'água a partir dos dados de entrada (ESRI).

O *Topo to Raster* também é capaz de eliminar depressões espúrias (depressões indesejadas), que consistem em descontinuidades da área de drenagem (figura 7), interrompendo o escoamento superficial e segmentando a área, impossibilitando ou prejudicando aplicações posteriores, como delimitação automática de bacia de contribuição de determinado trecho da hidrografia.

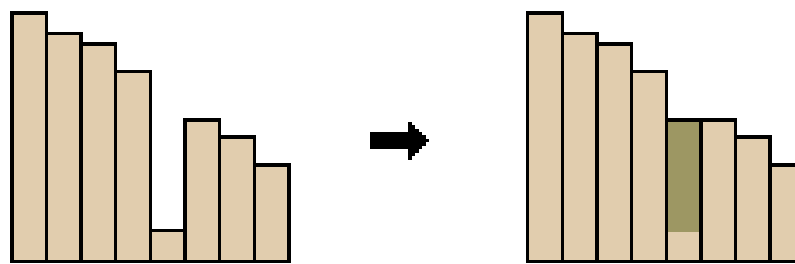


Figura 7. Preenchimento de depressão espúria. Fonte: ESRI

2.2.3. Pós-processamento

O pós-processamento foi necessário para eliminação de depressões espúrias remanescentes do processo de interpolação feito pelo *Topo To Raster*. Outro objetivo seria coincidência da drenagem numérica do modelo e a drenagem vetorial originária das bases de dados cartográficas (CHAVES, 2002). Os seguintes procedimentos foram realizados:

Aprofundamento da hidrografia

No modelo gerado pelo *Topo to Raster* a rede de drenagem numérica resultante apresenta discrepância da hidrografia vetorial mapeada, isso ocorre principalmente em situações em que não existem informações de altimetria detalhadas o suficiente para retratar a verdadeira realidade topográfica do local (RIBEIRO et al., 2002). Para contornar este inconveniente e integrar a hidrografia mapeada ao MDE a estratégia de aprofundamento da hidrografia, também conhecida como *stram-burning* pode ser utilizada (SAUDERS, 1999 apud RIBEIRO et al., 2002).

Para o aprofundamento, inicialmente a hidrografia vetorial foi convertida para o formato raster (figura 8A) com todas as células recebendo o valor 1, depois a hidrografia foi “afinada” com a utilização do comando *Thin*, ou seja, o número de células utilizadas na hidrografia rasterizada foi reduzida apenas o necessário para representar a hidrografia (figura 8B), o resultado gerado atribui 1 para hidrografia e 0 para o restante do grid, a figura 8C mostra o resultado após aplicação de um comando condicional que converte os dados que não representam a hidrografia em NODATA.

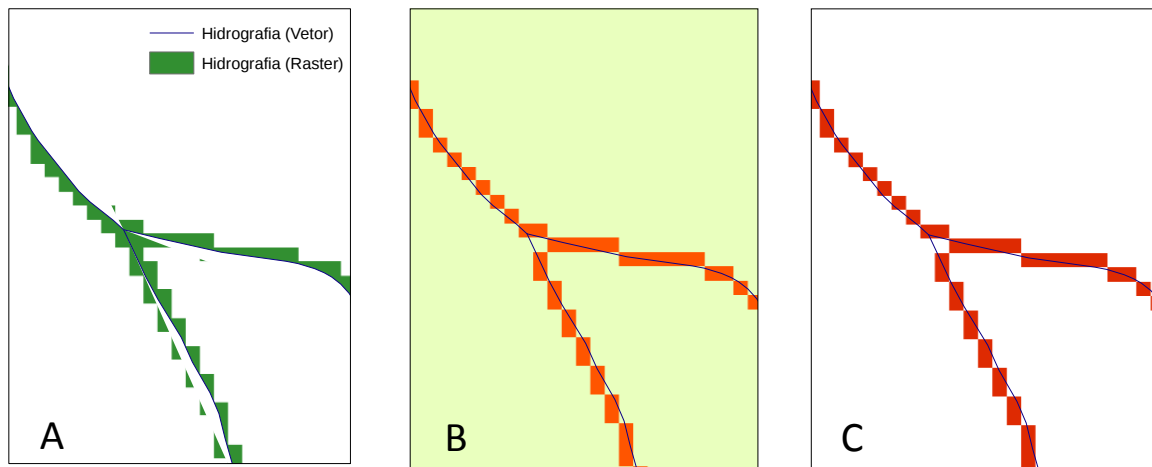


Figura 8. Hidrografia rasterizada (A), hidrografia “afinada” (B e C).

Em seguida é feito a subtração dos valores de elevação das células do MDE associados a hidrografia por um valor suficientemente grande, no presente estudo o número adotado foi 1000m.

Remoção de depressões espúrias

As depressões espúrias que não foram eliminadas no procedimento de interpolação pelo Topo To Raster e aquelas resultantes do processo de imposição da hidrografia são eliminadas nesta etapa com a aplicação do comando Fill do Arc/Info. Em seguida restauraram-se os valores originais da altimetria ao longo da drenagem aprofundada.

Construção do Talvegue

A construção de talvegue tem como objetivo o refinamento da superfície ao longo da hidrografia (Hellweger 1997 apud Ribeiro et al., 2002), nem sempre as técnicas de pós-processamentos citadas anteriormente garantem a caracterização de um talvegue ao longo das células que compõem a hidrografia imposta (figura 9). Diante deste fato a construção do talvegue torna-se necessário para garantir o escoamento superficial na direção correta, evitando assim problemas de descontinuidade no MDE.

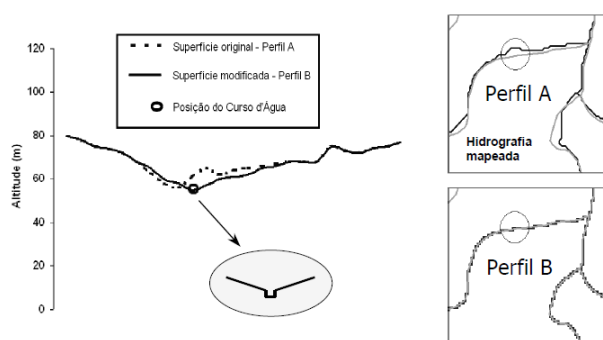


Figura 9. Refinamento do relevo ao longo das margens. Fonte: Ribeiro, 2009.

Em determinados locais da hidrografia onde as informações altimétricas não estejam devidamente caracterizadas podem ocorrer serias divergências, como por exemplo, na figura 9 em que o curso d'água está sendo representado em uma encosta. Após a construção do talvegue observam-se grandes melhorias na consistência entre a hidrografia e o MDE. A equação matemática para construção do talvegue proposta por Hellweger 1997 apud Ribeiro et al., 2002, pode ser observada na figura 10.

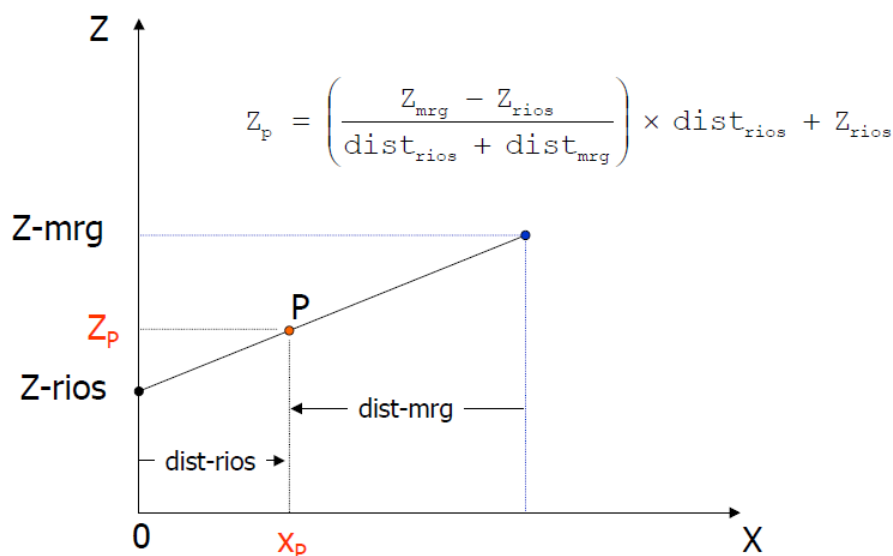


Figura 10. Equação para o refinamento do relevo nas margens da hidrografia.

O MDE gerado por meio de cartas topográficas foi considerado hidrograficamente condicionado após a análise de consistência topológica e hidrológica, em que a bacia hidrográfica em estudo foi gerada automaticamente.

2.3. Processamento de dados ASTER.

O modelo digital de elevação obtido a partir de dados de sensoriamento remoto foi o do sensor ASTER. A imagem de estudo foi a ASTGTM_S21_W043, apresentando resolução espacial de 30 metros e elipsóide de referência WGS84, reprojetada para SAD 69 (South American Datum 1969).

A metodologia utilizada no processamento e no condicionamento do MDE está apresentada na Figura 11. O principal objetivo em processar as informações digitais dos sensores remotos é minimizar ou recuperar as falhas existentes. Essas são originadas devido ao relevo acidentado, corpos hídricos, fumaça, densidade de nuvens e influência da vegetação (Martins, 2011).

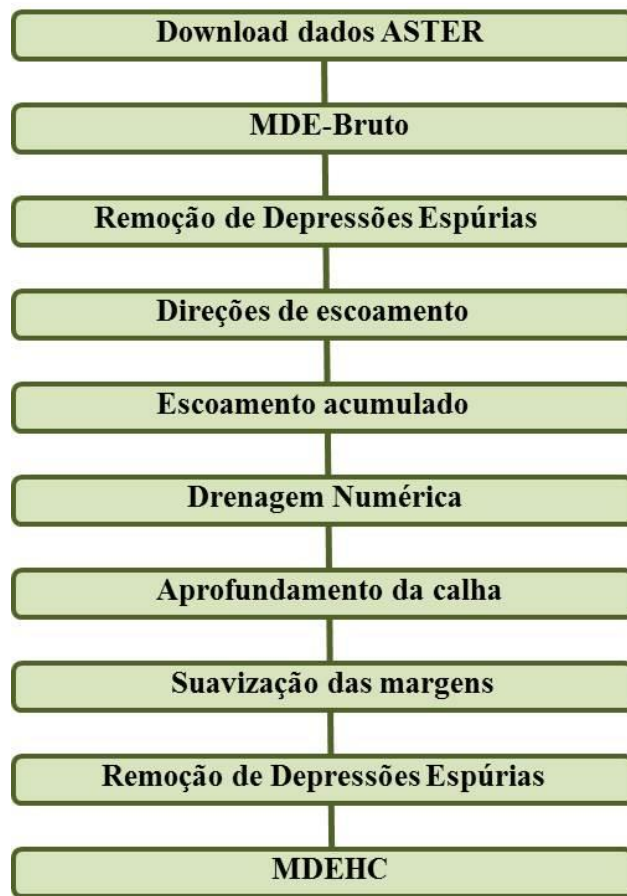


Figura 11. Procedimentos do processamento e condicionamento do MDE. Fonte: Adaptada de Martins et al., 2011.

As falhas que mais prejudicam os estudos hidrológicos são denominadas de “sinks” ou depressões espúrias, ou seja, áreas rodeadas por elevações com valores de cotas superiores. O comando utilizado pelo software ArcGis para preencher essas depressões é o *Fill*. Com as depressões preenchidas determina-se a direção do escoamento por meio da função *flow direction*. De acordo com Rennó et al. (2008), a direção de fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica.

Cada célula do MDE possui 8 células vizinhas (característica de um modelo matricial retangular). Assim sendo, a água que está em uma célula pode escorrer para uma das oito células ao redor, escolhendo aquela que possui a maior declividade (modelo gravitacional). Portanto, cada célula será classificada de acordo com a direção da célula vizinha que receberá a água escoada por ela (Figura 12).

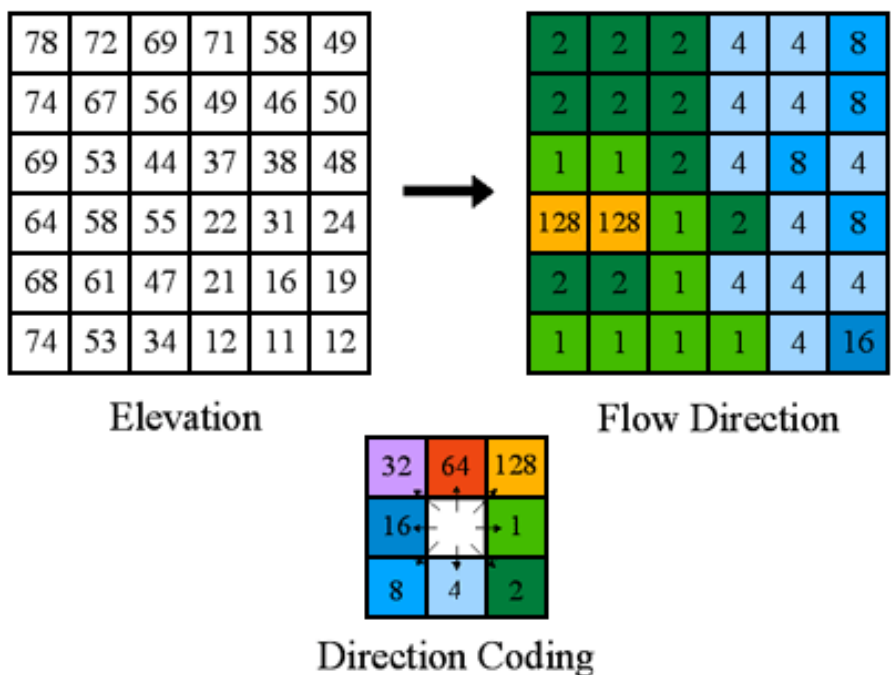


Figura 12. Fluxo acumulado em cada célula. Fonte: ESRI

O escoamento acumulado é feito por meio da função *flow accumulation* utilizando a direção de escoamento determinada anteriormente. Consiste em cada célula receber um valor correspondente à quantidade de células à montante (rio acima) que deságuam nela (Figura 13). Deste modo, tem-se que a célula da foz de uma bacia possuirá, sempre, a maior quantidade de fluxo acumulado, uma vez que toda a água da bacia passa por ela.

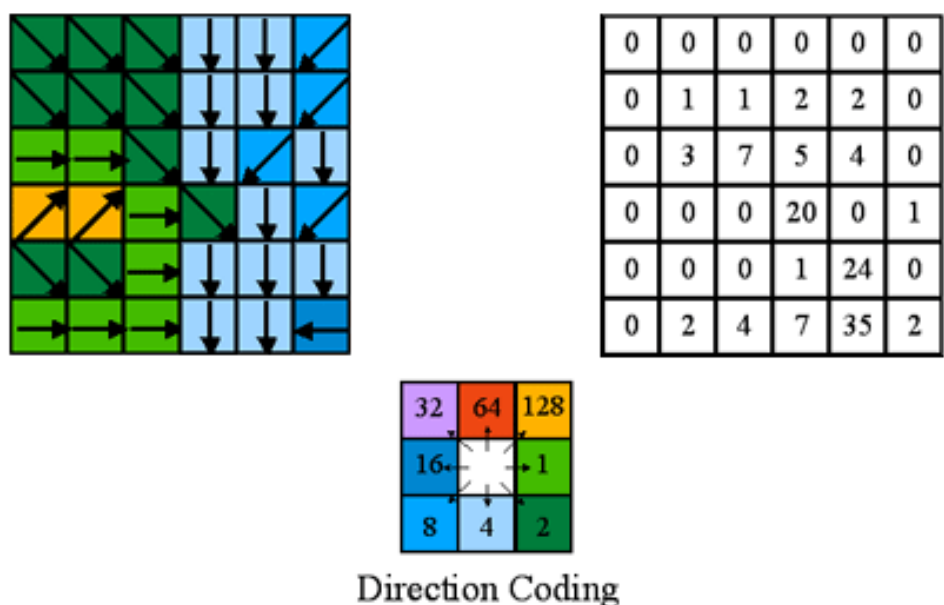


Figura 13. Fluxo acumulado em cada célula. Fonte: ESRI

Enfim, determina-se a drenagem numérica, ou seja, o padrão de fluxo acumulado elevado e a localização potencial da malha dos rios. No presente trabalho, a drenagem numérica para os MDE ASTER, compatíveis com a escala 1:50.000, foi determinada com acúmulo inicial de 100 células (ramificação da drenagem numérica). Esta metodologia descrita por Tarboton et al. (1991) é internacionalmente conhecida e aceita.

2.4. Parâmetros Morfométricos

Por meio das informações obtidas no processamento dos MDEHC do IBGE e MDE e MDEHC do ASTER foi possível determinar e comparar os resultados de uma série de características morfométricas, tais como: área de drenagem (A); perímetro (P); coeficiente de compacidade (Kc); fator de forma (Kf); índice de circularidade (IC); declividade média (Im); altitudes máxima (Hmáx.), média (Hmed.) e mínima (Hmín.); comprimento total dos canais (Lt); comprimento do canal principal (Lp); densidade de drenagem (Dd). Na Tabela 1 estão relacionadas as equações utilizadas no cálculo das principais características morfométricas consideradas neste trabalho.

Tabela 1. Descrição do cálculo dos principais Parâmetros Morfométricos.

Característica morfométrica	Unidade	Equação	Descrição
Coeficiente de compacidade	-	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ (1)	P = perímetro (L) A = área de drenagem (L ²)
Fator de forma	-	$Kf = \frac{A}{L^2}$ (2)	L = comprimento axial da bacia (L)
Índice de circularidade	-	$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$ (3)	-
Densidade de drenagem	km km ⁻²	$Dd = \frac{Lt}{A}$ (4)	Lt = comprimento total dos cursos d'água (L)

Fonte: Martins et al, 2011.

3. Resultados e Discussão

A correção dos modelos originados das cartas IBGE e do ASTER tornando-os isentos de depressões espúrias e com o escoamento superficial orientado e rede de drenagem ramificada (Figura 14), garantiram o condicionamento hidrográfico nos modelos.

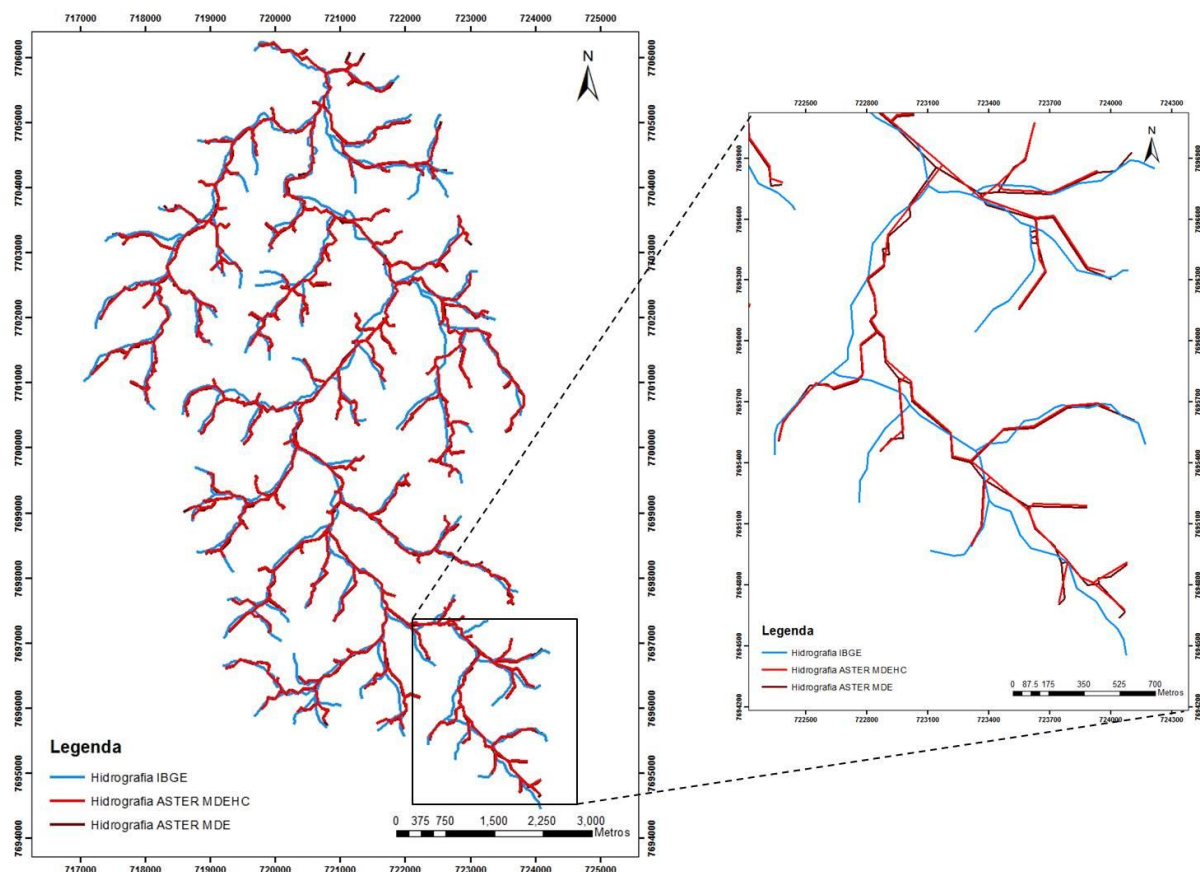


Figura 14. Comparação das hidrografias numéricas geradas (ASTER) e a hidrografia mapeada (IBGE).

A hidrografia numérica do MDEHC ASTER foi compatível com a hidrografia mapeada, considerada referência neste trabalho. Já a hidrografia gerada do MDE ASTER apresenta uma série de erros que só serão corrigidos por meio de processamento e correções. Observa-se que o modelo gerado (MDEHC ASTER) apresenta maior detalhamento da rede de drenagem, porém a comparação dos modelos (MDEHC ASTER/MDEHC IBGE) demonstra deficiências em representar regiões de elevadas altitudes, localizadas próximas as nascentes.

Segundo Kääb et al. (2002), esses erros são previsíveis considerando-se o fato de tais encostas ficarem escondidas ou sombreadas durante a leitura do sensor que obtém a banda 3B, ou pelo menos são grandemente distorcidas, condições em que as encostas recebem menos iluminação solar reduzindo, assim, o contraste da imagem e aumentando a probabilidade de falhas na correlação entre as bandas 3N e 3B. A região foco deste trabalho apresentava grande amplitude altimétrica, com encostas com mais de 900 metros, adjacentes a áreas relativamente planas com altitudes em torno de 600 metros.

O MDE e MDEHC para dados ASTER e o MDEHC para dados IBGE, considerado referência neste trabalho, estão representados na Figura 15.

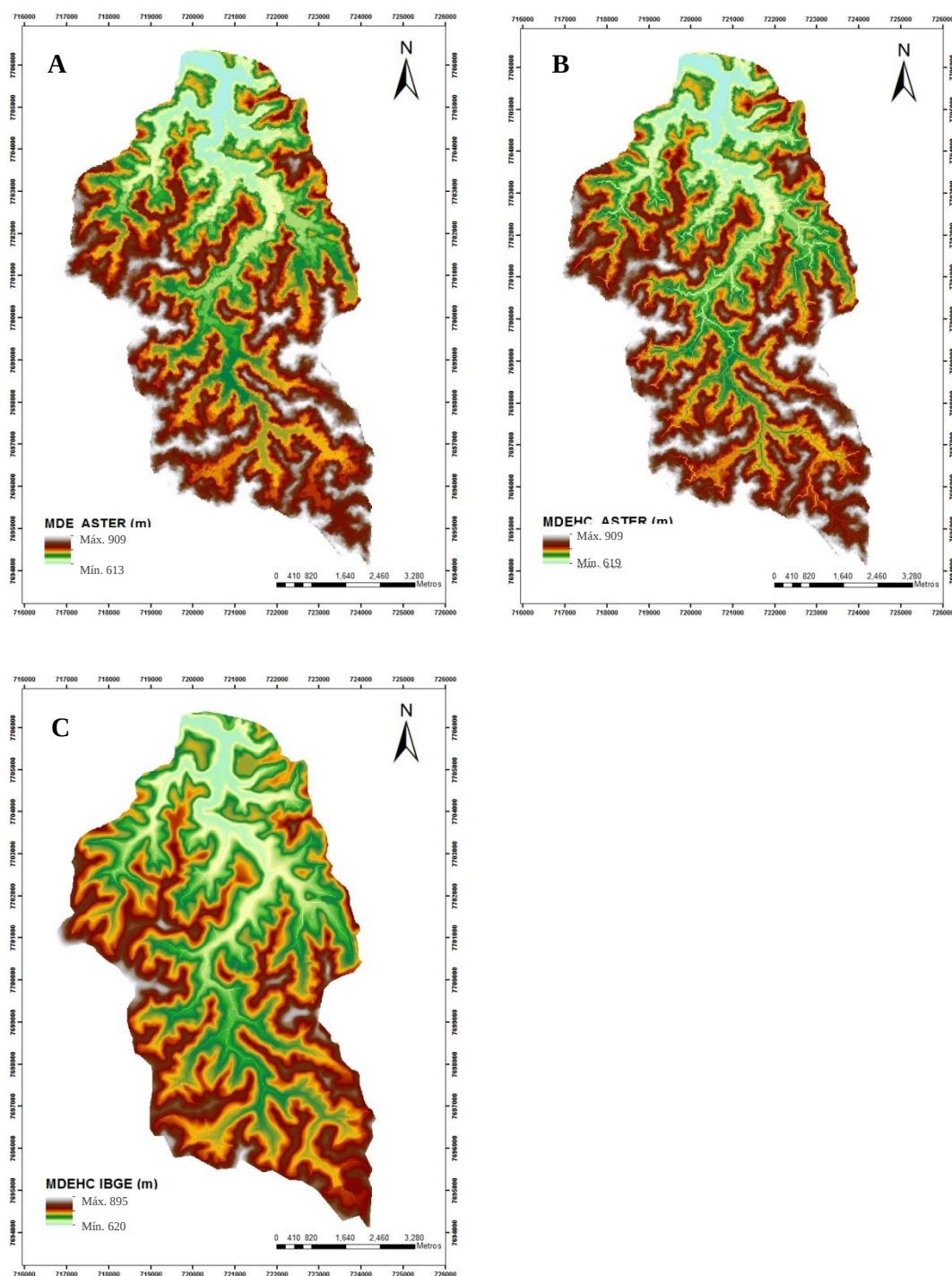


Figura 15. Representação dos MDE ASTER (A), MDEHC ASTER (B) e MDEHC IBGE (C).

As características morfométricas da Bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, quantificadas por meio dos Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados (MDEHCs) para o IBGE e ASTER, e pelo Modelo Digital de Elevação (MDE) para ASTER, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características morfométricas dos diferentes modelos analisados.

Características Morfométricas	Unidade	MDEHC		MDE
		Cartas IBGE	ASTER	ASTER
Área de drenagem (A)	km ²	54,7088	54,7247	54,6708
Perímetro (P)	km	36,1019	35,4371	35,4624
Coeficiente de compacidade (Kc)	-	1,3667	1,3413	1,3429
Fator de forma (Kf)	-	0,3234	0,3288	0,3290
Índice de circularidade (IC)	-	0,5276	0,5478	0,5465
Declividade média (Im)	%	24,6617	21,268	20,0805
Altitude mínima (Hmin)	m	620	619	613
Altitude máxima (Hmáx)	m	895	909	909
Altitude média (Hm)	m	732	738	739
Comprimento total dos canais (Lt)	km	99,5067	97,0694	106,9068
Comprimento do canal principal (Lp)	km	15,9671	14,7084	15,1392
Densidade de drenagem (Dd)	km.km ⁻²	1,8188	1,7738	1,9555

Analisando-se a tabela 2 os resultados encontrados para a área e o perímetro foram muito próximos do modelo referência (MDEHC IBGE); assim, as características diretamente relacionadas a essas não apresentaram grandes variações entre os modelos.

A variação, em porcentagem, dos resultados das características morfométricas estimadas pelo MDEHC ASTER e o MDE ASTER com o modelo padrão MDEHC CARTAS estão comparados na Figura 16.

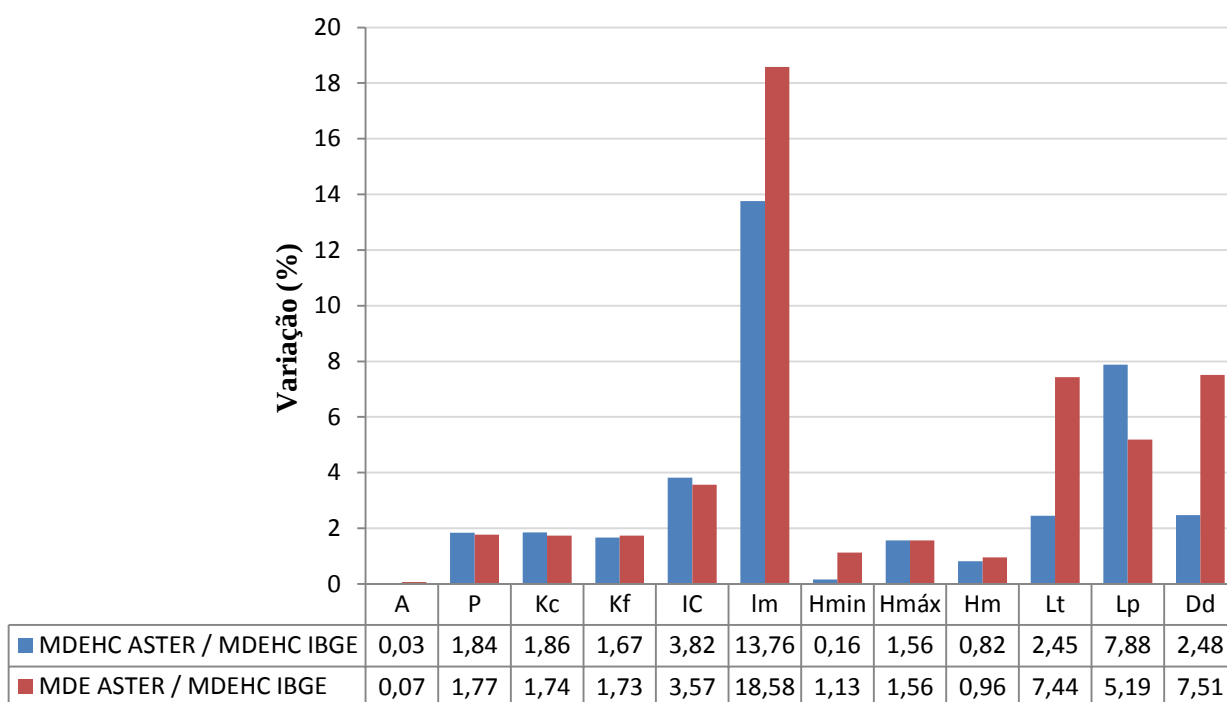


Figura 16. Comparação entre os modelos gerados (MDE e MDEHC ASTER), com o modelo padrão (IBGE).

A análise das variações apresentadas na Figura 16 indica que os parâmetros morfométricos resultantes do MDEHC ASTER foram próximos comparados com o MDEHC IBGE, apresentando as maiores variações na declividade média da bacia (13,76%) e no comprimento do rio principal (7,78%).

A comparação de dados MDE ASTER com MDEHC IBGE resultou em variações consideráveis. Por meio da análise da variação da declividade média (18,58%), comprimento total do rio (7,44%), comprimento do rio principal (5,19%) e densidade de drenagem (7,51%), observou-se a inconsistência dos dados oriundos do MDE ASTER. Assim, observa-se a importância do condicionamento dos modelos digitais de elevação para obtenção de modelos mais precisos que possam retratar o mais fielmente possível a hidrografia na bacia analisada.

Modelos originados por dados de sensoriamento remoto apresentam deficiência em estimar as declividades em bacias hidrográficas. Kocak et al. (2004) e Gerstenecker et al. (2005) em seus estudos, mostraram que a exatidão de modelos derivados de sensores remotos é muito dependente da inclinação do terreno, sendo a qualidade mais baixa em áreas declivosas com relação a áreas planas, razão essa que, Falorni et al. (2005) sugerem que a exatidão especificada em 16 metros para MDEs do ASTER, deva ser considerada apenas como diretriz em terrenos declivosos.

4. Conclusões

Assim como observado por Ribeiro (2002), os procedimentos descritos são de grande importância para a melhoria na qualidade do delineamento automático de bacia, pois não existe qualquer trecho da hidrografia interceptando o limite da mesma, além da capacidade de replicar fielmente a hidrografia mapeada.

A fase de pré-processamento é extremamente importante para a obtenção de um MDEHC com boa precisão, acurácia e confiabilidade, pois etapas posteriores, como, a interpolação pelo *Topo To Raster* são diretamente dependentes desse processo.

Verifica-se, por meio da análise das variações dos padrões morfométricos, boa concordância entre o MDEHC IBGE, considerado como referência, com o MDEHC oriundo de dados de sensoriamento remoto (ASTER), salientando a importância do condicionamento hidrográfico nos modelos digitais de elevação. Estes podem ser utilizados como uma alternativa viável ao manejo de bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos, pois otimizam tempo e recursos quando comparados aos MDEHCs oriundo de cartas topográficas do IBGE.

5. Referências Bibliográficas

CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I.; ROCHA, M.F.; CARVALHO JÚNIOR, W.DE; SOUZA NETO, N.C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação de um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.218-226, 2010.

DIAS, G. M. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; OLIVEIRA, A. A.; CAMPOS, G. M. M. *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em água de manancial superficial de abastecimento contaminada por dejetos humano e animal. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.60, n.6, p.1291-1300, 2008.

FALORNI, G.; TELES, V.; VIVONI, E. R.; BRAS, R. L.; AMARATUNGA, K. S. Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. **Journal of Geophysical Research – Earth Surface**, v.110, p.F02005, 2005.

FERNANDES, R. B. A.; RODRIGUES, J. S.. **Recursos hídricos e percepção ambiental no município de Viçosa, MG**. Viçosa, 2006.

FERREIRA, D. A. C.; DIAS, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do Ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.617-623, 2004.

FONTES, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A.; RODRIGUES, J.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Recursos hídricos e uso do solo no município de Viçosa, MG. In: FONTES, L. E. F.;

GERSTENECKER, C.; LÄUFER, G.; STEINECK, D.; TIEDE, C.; WROBEL, B. Validation of digital elevation models around Merapi Volcano, Java, Indonesia. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.5, p.863-876, 2005.

GUEDES, H. A. S.; CAPOBIANGO, G. V.; MARTINS, V. S.; SILVA, D. D. Análise da precisão entre os métodos de interpolação Krigagem Ordinária e Topo to Raster na geração de modelos digitais de elevação In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. SBSR: 2011. p. 4239-4239.

HUTCHINSON, M. F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211–232.

IBGE.**Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default2.php>> Acesso em: 05 de maio de 2014.

KOÇAK, G.; BÜYÜKSALIH, G.; JACOBSEN, K. Analysis of digital elevation models determined by high resolution space images. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.35, p.636-641, 2004.

KÄÄB, A.; HUGGEL, C.; PAUL, F.; WESSELS, R.; RAUP, B.; KIEFFER, H.; KARGEL, J. Glacier monitoring from ASTER imagery: accuracy and applications. In: EARSeL-LISSIG – Workshop Observing our Cryosphere from Space, 2, 2002, Bern. **Proceedings...** Bern: EARSeL, 2002. p.43-53.

LANA, V. M.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; SILVA, E.; MENEZES, S. J. M. C.; LIMA, C. A.; DOMINGUES, G. F.; SILVA, T. P.; SILVA, R. M.; COSTA, F. R. Preparação de bases de dados vetoriais do IBGE no ArcGIS para a geração de modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDEHCs). In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. SBSR: 2011. p.6073-6080.

MARTINS, V. S.; GUEDES, H.A.S.; CAPOBIANGO, G. V.; SILVA, D.D. A importância do condicionamento hidrográfico no estudo morfométrico de bacias. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. SBSR: 2011. p.5418-5425.

MACHADO, K.J.; CALIJURI, M.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SANTOS, R.S.DOS; FRANCO, G.B. Determinação automática da capacidade de armazenamento de um reservatório. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.62 Edição Especial 01, 2010.

PORTES, R. C. **Determinação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG através de geoprocessamento e análise multicritério**. 2008. 58p. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3469-3481, 2008.

RIBEIRO,C.A.A.S et al. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2., 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: 2002.

RIBEIRO, C. A. A. S., **ENF 613 – Tópicos Avançados em Sistema de Informação Geográfica**, Apostila de Curso, UFV, 2009.

RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A.M.S.; GLERIANI, J.M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.203-212, 2005.