

Obtenção pixel a pixel de variáveis morfométricas em SIG após tratamento de dados SRTM

Felipe de Azevedo Marques
Demetrius David da Silva

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Departamento de Engenharia Agrícola - DEA
Av. P.H. Rolfs, s/n.º - Campus UFV- 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
engmarx@terra.com.br
david@ufv.br

Abstract. The traditional process for generation of digital elevation models, through the digitalization of topographical letters demands larger man power and time, in way that the objective of the work was to develop a methodology for the use of orbital data from the SRTM on generation of digital elevation models hydrologically consistent, making possible the extraction of physical variables on watersheds in GIS. In order to correct imperfections of SRTM data, spurious depressions had been eliminated, a gutter under the hydrographic net was created, edges had been refined and the displacement between the numerical drainage and the one mapped by IBGE was corrected. Automatic operations in GIS were used to get morphometric characteristics related to each pixel of the hydrographic net of rio Doce's watershed. Were determined: draining area, length of the main river, total length of the draining net and draining density. The results had disclosed exactness in comparable levels to the manual methods, indicating viability in the extraction of physical characteristics in the rio Doce's watershed.

Palavras-chave: SRTM, GIS, physical characteristics, SRTM, SIG, características físicas.

1. Introdução

A exigência de uma visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, obtidas em ritmo cada vez mais intenso graças ao desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores e às imagens obtidas por satélites espaciais.

O delineamento e a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada é uma etapa imprescindível em análises hidrológicas, de modo que Engman (1996) afirma que o gerenciamento integrado dos recursos hídricos depende da disponibilidade de dados adequados para a construção e validação de modelos representativos dos processos hidrológicos.

De acordo com ESRI (1997), modelar digitalmente uma superfície, de modo consistente, significa representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real. A utilização de modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes (MDEHC) propicia o uso de sistemas de informações geográficas para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem.

As vantagens da automação são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutividade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais. Neste sentido, a utilização de bases topográficas obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a necessidade de intervenções manuais na modelagem do relevo e, portanto, a resolução de 90m dos dados da missão de mapeamento topográfico SRTM, dos Estados Unidos, representa um avanço importante em relação às alternativas até então disponíveis (Valeriano, 2004).

Nesse contexto, o trabalho apresenta uma metodologia de tratamento dos dados orbitais para geração de MDEHC, e para extração de variáveis físicas referentes a cada pixel da rede hidrográfica da bacia do rio Doce.

2. Materiais e Métodos

A bacia hidrográfica do rio Doce situa-se na região Sudeste (**Figura 1**), entre os paralelos 17°45' e 21°15' Sul e os meridianos 39°55' e 43°45' Oeste. Apresenta área de drenagem de aproximadamente 83.400 km², dos quais 86% situa-se no Estado de Minas Gerais e o restante no Estado do Espírito Santo (ANA/CBH-DOCE, 2005).

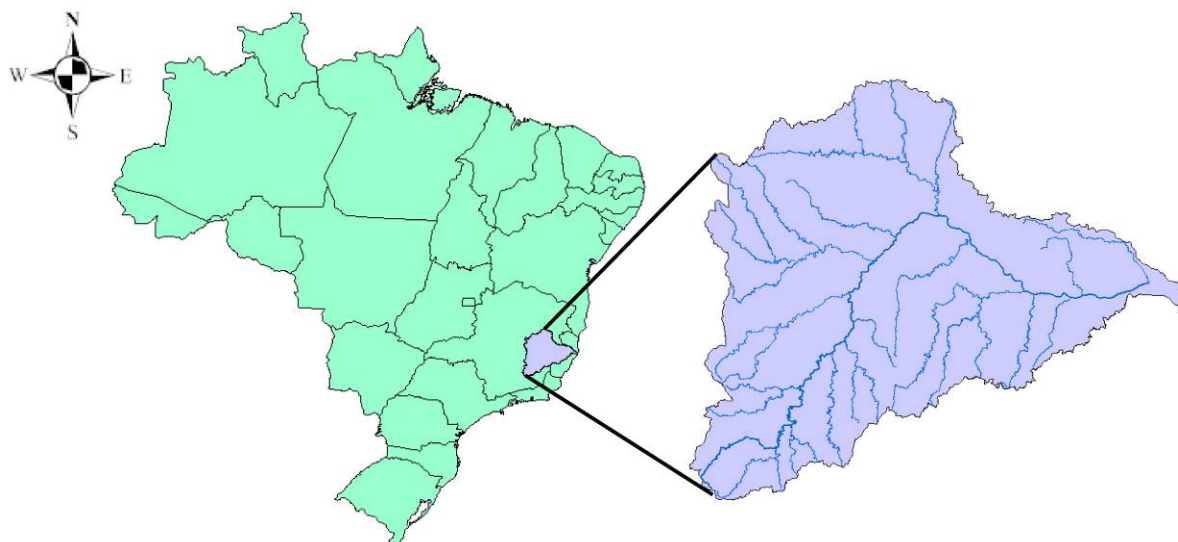


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Doce.

Neste trabalho foram utilizados o SIG ArcGIS 8.3[®] e o modelo digital de elevação (MDE) originário da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM como fonte de dados altimétricos. Devido às limitações sistêmicas destes dados orbitais, como grande número de vãos e corpos d'água mal definidos, foram realizados tratamentos buscando a eliminação das depressões espúrias, o aprofundamento das calhas e a correção do deslocamento nos dados SRTM em relação as cartas do IBGE. O fluxograma representado na **Figura 2** ilustra as etapas envolvidas na geração do MDEHC.



Figura 2 – Fluxograma das etapas envolvidas na geração do MDEHC.

Após descarregar o MDE da SRTM do endereço do USGS (*United States Geological Survey*) na internet, em que permanecem disponíveis sob a resolução de 90 m, as folhas SRTM necessitaram ser agrupadas em mosaico resultando uma única imagem.

Para atender a demanda técnica da modelagem consistente do relevo em SIG e sua integração com outras informações, foram realizadas operações a fim de garantir a convergência do escoamento superficial até a foz da hidrografia. Foi desenvolvida uma metodologia reunindo o máximo de processos automáticos que pudessem ser reproduzidos, por qualquer pessoa em qualquer bacia, com o mínimo de intervenções manuais.

A primeira operação visou eliminar as depressões espúrias, ou seja, células cercadas por outras de maiores valores de elevação. Com este fim, utilizou-se o comando FILL, no ambiente GRID do ArcInfo[®]. Em seguida, iniciaram-se as operações na calculadora matricial (*raster calculator*) do ArcMap[®].

Foi gerado o mapa temático contendo a direção de escoamento em cada célula do MDE, e também com operação de vizinhança e conectividade, foi calculado o número de pixels localizados à montante de cada célula, obtendo-se o escoamento superficial acumulado para cada uma delas. Estabelecendo-se um número mínimo de 50 células contribuintes a partir do qual as células foram identificadas como pertencentes a um curso d'água, foi gerada a rede de drenagem numérica da bacia hidrográfica, ou seja, a hidrografia calculada com base no relevo do MDE, ainda apresentando algumas discontinuidades.

A utilização da drenagem numérica com grau de ramificação uniforme é essencial em estudos de avaliação de modelos hidrológicos uma vez que elimina problemas advindos de diferentes níveis de detalhamento, comum nas cartas do IBGE, como por exemplo, na própria bacia do rio Doce (**Figura 3**).

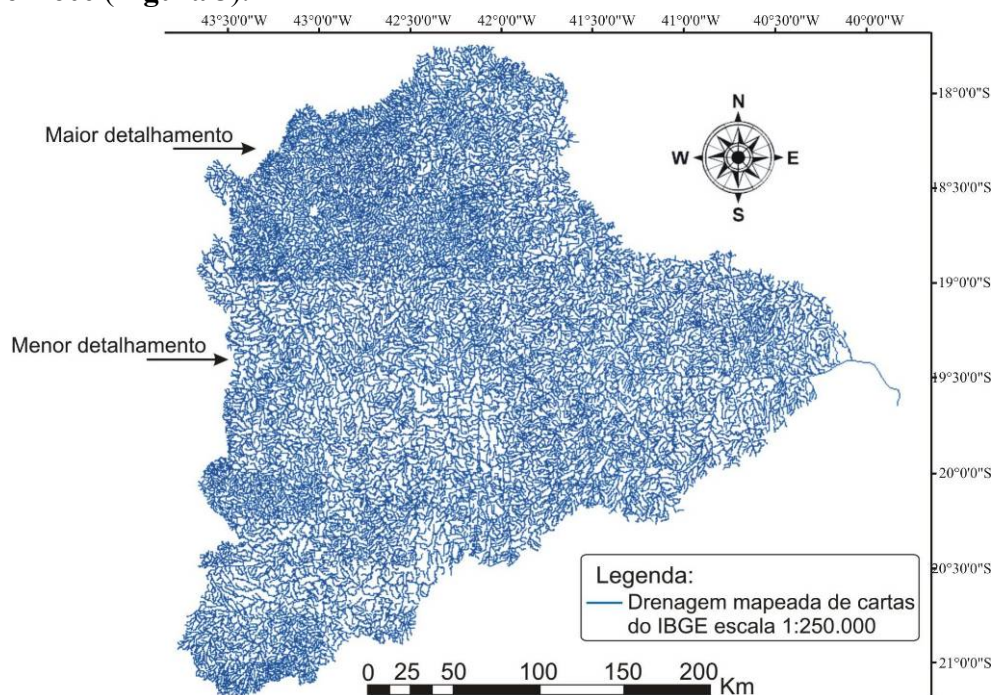


Figura 3 – Hidrografia da bacia do rio Doce, mapeada de cartas do IBGE na escala 1:250.000, com grande variação na ramificação da drenagem.

Com a sobreposição da hidrografia advinda de mapas do IBGE nas escalas 1:250.000 e 1:50.000 evidenciou-se um deslocamento na drenagem numérica de cerca de 200 m no sentido oeste-leste. Os dados do IBGE foram considerados padrão por utilizarem dados oficiais, sendo utilizadas 10 confluências no georreferenciamento da drenagem numérica.

Após a correção do deslocamento, ajustou-se a ramificação da hidrografia numérica de modo que esta atingisse um nível de detalhamento capaz de aliar a necessidade de se representar toda a rede hidrográfica da bacia do rio Doce com a preocupação de não sobrecarregar o banco de dados associado a um projeto paralelo, ainda em desenvolvimento. Vale ressaltar que este é um processo flexível em que o operador pode, em função de suas necessidades, aumentar ou diminuir o detalhamento da drenagem em estudo.

Atingida a ramificação desejada, aprofundou-se a calha ao longo da drenagem numérica em 5 m com o objetivo de eliminar as descontinuidades da rede hidrográfica, impondo o caminho preferencial para o escoamento superficial e refinou-se o relevo ao longo das margens buscando conformidade com a geometria dos cursos d'água. Para finalizar, as depressões espúrias foram mais uma vez identificadas e removidas, e buscando a validação do MDEHC, delimitou-se a bacia do rio Doce a partir de ponto inserido em sua foz.

De posse do MDEHC, utilizou-se basicamente a calculadora do módulo *Spatial Analyst*, aplicando comandos às bases de dados matriciais, a fim de obter automaticamente as características morfométricas: área de drenagem (A), comprimento do rio principal (L_{rp}), comprimento total da drenagem (L_t) e densidade de drenagem (D_d), para cada pixel da rede hidrográfica. Na Tabela 1 apresenta-se a seqüência dos algoritmos utilizados nesta etapa.

Tabela 1 - Seqüência de comandos utilizados para extração das características físicas

Característica	Comandos utilizados na calculadora matricial
Área de drenagem	[aux] = h_r1 * escacum [a_km2] = (aux * 8100) / 1000000
Comprimento do rio principal	[L] = flowlength([diresc], #, upstream) [L_m] = L + 90
	[segmentos] = streamlink([h_r1], [diresc]) [dist] = flowlength([diresc], #, upstream) [foz_seg] = zonalmax(segmentos, dist) [seg_foz] = con(foz_seg == dist, 0) [aux1] = isnull(seg_foz)
Comprimento total	[seg_dir] = aux1 * [diresc] [dist_seg] = flowlength(seg_dir, #, upstream) [aux2] = dist_seg + 90 [aux3] = zonalmax(segmentos, aux2) [compr_seg] = con(aux3 == aux2, aux2) [aux4] = flowaccumulation([diresc], compr_seg) [Lt_m] = con(isnull(compr_seg) == 1, aux4 + aux2, aux4 + aux2)
Densidade de drenagem	Dd_kmkm = (Lt_m / 1000) / a_km2

Com os *grids* do modelo digital de elevação hidrológicamente consistente, direção do escoamento e a máscara da hidrografia numérica, foi possível processar todas as etapas necessárias à obtenção das características morfométricas da bacia do rio Doce. Inicialmente, a fim de que as características fossem mensuradas no sistema métrico, adotou-se a projeção cônica de Albers, mais apropriada em regiões com grande extensão territorial predominantemente no sentido leste-oeste (ESRI, 2002).

A determinação da área de drenagem foi realizada utilizando-se operações de vizinhança e conectividade no cálculo do número de células localizadas a montante de cada pixel da hidrografia. O produto deste *grid* pela área de cada pixel (8100 m²) resultou num mapa temático com informações de área de drenagem ao longo de toda a malha da bacia.

O comprimento do rio principal, para cada pixel, foi obtido também de forma simples utilizando-se as direções de escoamento e um algoritmo de distância aplicado sobre a drenagem numérica. Visando calcular o comprimento total da drenagem à montante de cada pixel, foi necessário segmentar a hidrografia em trechos, calcular o comprimento acumulado a partir de cada nascente ou confluência e finalmente somar o comprimento dos trechos situados a montante de cada pixel mais a distância do pixel à nascente de seu segmento.

A densidade de drenagem foi obtida dividindo-se o *grid* contendo o comprimento total da drenagem pelo *grid* de área de contribuição correspondente a cada pixel da hidrografia. Para validação da metodologia os resultados obtidos de modo automático foram comparados com aqueles encontrados por procedimentos manuais com base em cartas topográficas nas escalas 1:50.000 e 1:250.000.

3. Resultados e Discussão

A **Figura 4a** representa, em detalhe, a comparação da drenagem mapeada de cartas do IBGE na escala 1:50.000 com a drenagem numérica gerada a partir do MDE, evidenciando o deslocamento de cerca de 200m no sentido oeste-leste. A **Figura 4b** ilustra o detalhe com as drenagens sobrepostas, após o georreferenciamento.

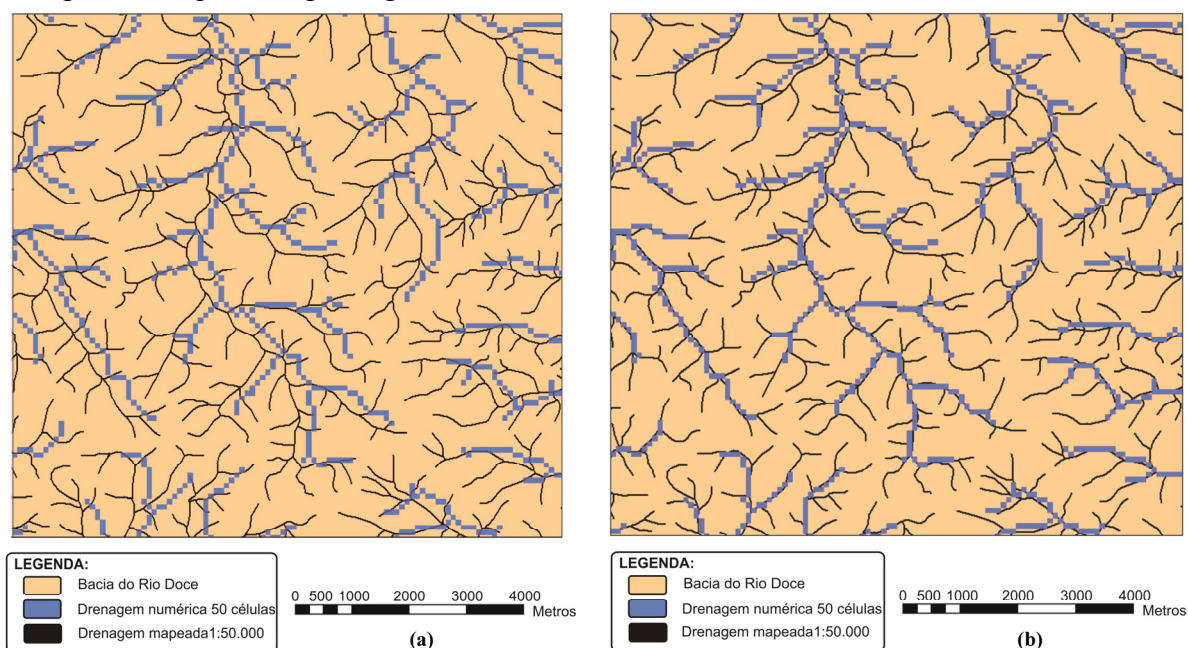


Figura 4. (a) Deslocamento entre a drenagem numérica e a mapeada pelo IBGE na escala 1:50.000 e (b) sobreposição das drenagens após o georreferenciamento.

Na **Figura 5a** está representada a comparação entre a hidrografia gerada estabelecendo-se 50 e 25 células contribuintes, a partir do qual as células foram identificadas como pertencentes a um curso d'água, e a drenagem mapeada em escala 1:50.000. Percebe-se que o grau de ramificação da drenagem gerada com 50 células contribuintes é inferior quando comparada à hidrografia mapeada pelo IBGE. Já a drenagem obtida com 25 células contribuintes possui ramificação mais aproximada à escala 1:50.000. A **Figura 5b** ilustra a bacia do rio Doce delimitada automaticamente a partir do MDEHC e o contorno delimitado manualmente com base na hidrografia digitalizada de cartas do IBGE.

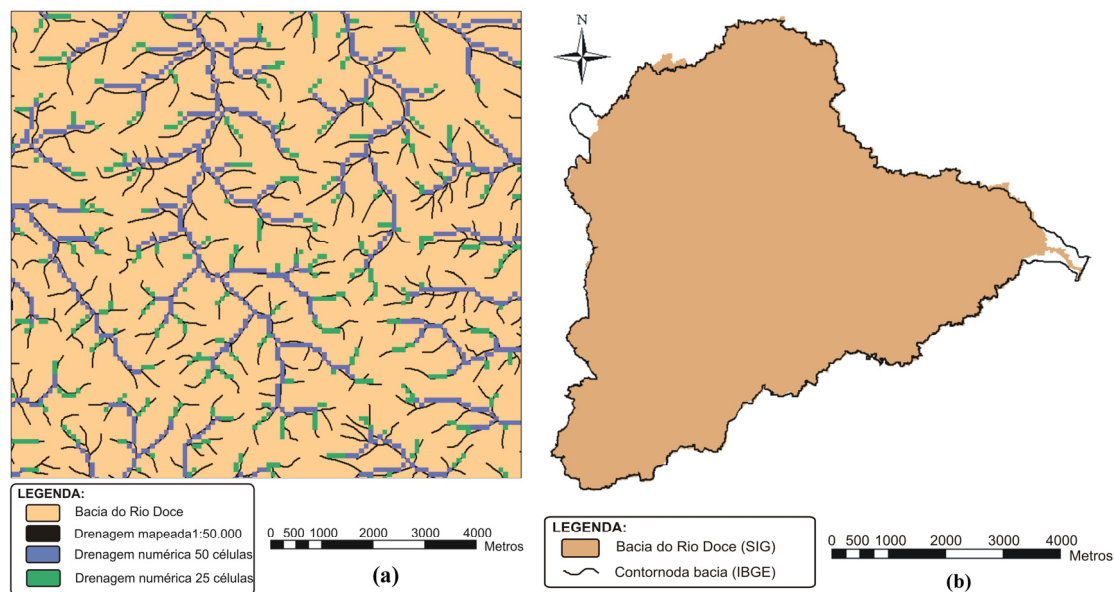


Figura 5. (a) Sobreposição das drenagens numéricas com 50 e 25 células contribuintes e mapeada pelo IBGE na escala 1:50.000 e (b) delimitação automática e manual da bacia.

Percebe-se que no extremo noroeste o MDEHC antecipou o divisor de águas, valendo ressaltar que posteriormente ficou comprovado o erro na delimitação manual desta região. Na foz do rio Doce, onde as baixas variações de altitudes dificultam a delimitação das encostas houve também redução no limite da bacia.

Em detalhe, a **Figura 6** ilustra o limite traçado, automaticamente, para a bacia do rio Doce e a drenagem mapeada de cartas do IBGE na escala 1:50.000, evidenciando a concordância da delimitação automática da bacia com as nascentes dos cursos d'água, digitalizados.

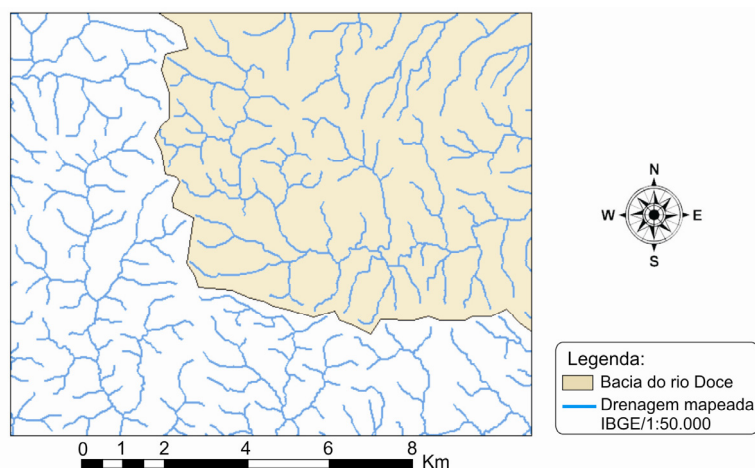


Figura 6 – Detalhe da delimitação automática da bacia do rio Doce e sobreposição da drenagem do IBGE na escala 1:50.000.

As características físicas foram extraídas com sucesso, pixel a pixel, da rede hidrográfica da bacia do rio Doce. De forma inédita na literatura, as características foram armazenadas em mapas temáticos, contendo informações para cada célula da drenagem numérica, com uma resolução de 90 metros, como exemplificado na **Figura 7**.

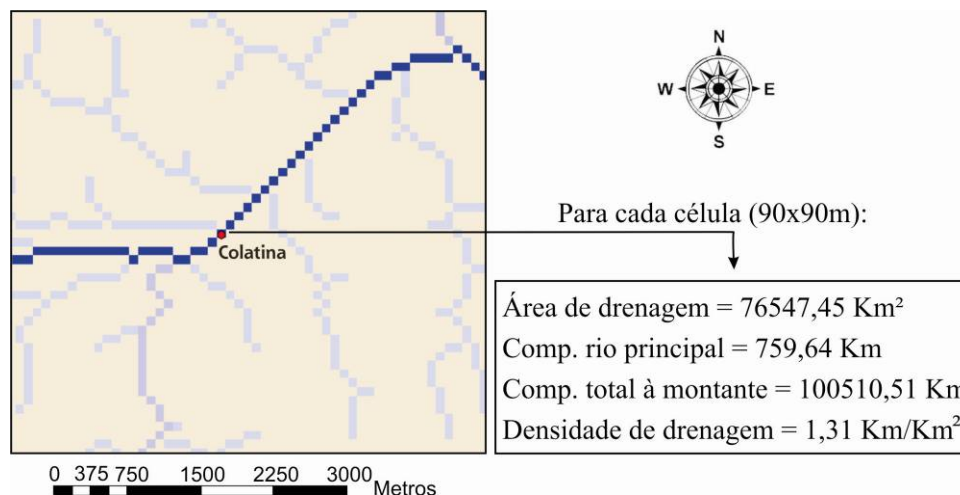


Figura 7 – Informações físicas para a seção da hidrografia referente à estação fluviométrica Colatina.

A **Tabela 2** apresenta os desvios relativos entre as características morfométricas obtidas de modo automático, com base na drenagem com 25 células contribuintes, e os resultados encontrados por procedimentos manuais com base em feições vetoriais. Os desvios relativos encontrados evidenciam que os procedimentos automáticos produziram resultados aproximados de área e comprimento do rio principal, entretanto a ramificação da drenagem numérica subestimou o comprimento total da rede hidrográfica em relação à escala 1:50.000 e superestimou quando comparada à escala 1:250.000. A densidade de drenagem acompanhou o comportamento do comprimento total.

Tabela 2 - Comparação dos resultados obtidos de modo automático (pixel a pixel) e os encontrados por procedimentos manuais

Escala Comparada	Desvio relativo (%)			
	A	L _{rp}	L _t	D _d
1:50.000	-1,78	0,19	-70,34	-70,20
1:250.000	-10,29	3,52	48,10	53,24

*valores negativos indicam que a drenagem numérica subestimou os valores obtidos por métodos manuais.

4. Conclusões

Com a análise de todas as etapas envolvidas no trabalho e discussão dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- Pelas falhas de cobertura, com freqüentes pontos espúrios em áreas alagadas e pela má definição dos corpos hídricos, não se recomenda a utilização direta dos dados SRTM.

- A metodologia desenvolvida para geração do MDEHC a partir do tratamento de dados remotos, é apropriada para utilização (interpretação visual e processamentos digitais) em processos de extração de características morfológicas da drenagem na bacia do rio Doce, reduzindo a demanda por mão de obra e tempo.

- A abordagem com base em produtos derivados a partir de algoritmos, com a utilização de SIG para a extração automática de informações pixel a pixel, pode substituir, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados, permitindo a obtenção de resultados menos subjetivos, em menor tempo e replicáveis, apresentando níveis de exatidão comparáveis aos obtidos por métodos manuais.

- O grau de ramificação estabelecido para a drenagem numérica da bacia do rio Doce é superior às cartas na escala 1:250.000 e inferior em relação a escala 1:50.000.

Referências

Engman, E. T. **Remote sensing applications to hydrology**. Future Impact. Hydrology Sciences Journal, v. 41, n. 4, pp637-647, 1996.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ARC/INFO v.7.1.1. **Help on Line**. Redlands, Califórnia: ESRI, 1997.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Map projections: Supported Map projections – Albers Equal Area Conic**. ArcGIS Desktop HELP. 2002.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para América do Sul**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004.