

CAPÍTULO 8

MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NO ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**Nathália Suemi Saito
Alexandre Rosa dos Santos
Maristela de Oliveira Bauer
Nilton César Fiedler
João Batista Esteves Peluzio**

1 Introdução

A luta contra a degradação ambiental vem aumentando a cada dia e conta com uma aliada, as ferramentas de geotecnologia, que facilitam o processo de análise, manipulação de informações em grandes áreas e, apresentam-se como ferramentas para extração, tratamento, análise e modelagem de dados e informações espaciais, dentre os quais se destaca o relevo.

O relevo, fundamental no estudo de uma bacia hidrográfica, tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois atua como importante agente regulador da distribuição do fluxo de água e energia dentro das mesmas (MARTZ; GARBRECHT, 2000), e sua representação, em meio digital, é efetuada por meio dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).

É importante ressaltar, que um MDE fiel ao relevo assegura a convergência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica (CHAVES, 2002). Além disso, sua caracterização correta permite a extração de características fisiográficas e morfométricas importantes no planejamento e gestão dos recursos hídricos, estudos hidrológicos de superfície ou qualquer estudo que esteja relacionado com a forma e o relevo das bacias hidrográficas. Evita-se, portanto, o gasto de recursos e procedimento e facilita a criação de uma base de dados unificada (RIBEIRO et al., 2002).

Para extrair com precisão e exatidão as informações de uma bacia ou dados topográficos deve-se priorizar a qualidade do MDE e do algoritmo de triangulação/interpolação utilizado em seu cálculo que muitas vezes são utilizados de forma indiscriminada e sem uma avaliação crítica.

Existem diversos interpoladores destinados a modelar um MDE, porém diversos autores como Álvares et al. (2001), Barragán (2002), Chaves (2002), Pires et al. (2005), Fernandes e Menezes (2005), Moreira (2006) e Nogueira e Amaral (2009) classificaram o

TOPOGRID/Topo to Raster como o método de interpolação mais apropriado para obtenção de modelos digitais de elevação com uma superior exatidão hidrológica.

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho do interpolador *Topo to Raster* para geração de modelos digitais de elevação e na extração de atributos na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES.

2 Metodologia

A área de estudo corresponde à sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, afluente do rio Itapemirim, distrito de Rive, município de Alegre, estado do Espírito Santo (Figura 1). Encontra-se entre as coordenadas de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) 41°24'55" e 41°31'50" de longitude Oeste e 20° 44'39 e 20°54'30" de latitude Sul, *DATUM* – SIRGAS 2000, Fuso 24K.

A sub-bacia do córrego Horizonte em sua maior porção envolve propriedades rurais, parte da fazenda do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes - *campus* de Alegre), parte da zona urbana do distrito de Rive, pertencente ao município de Alegre-ES; possuindo área total de 13,17 km², equivalente a 1316,61 hectares e 20 km de perímetro.

A área apresenta um relevo com uma topografia muito acidentada, intercaladas por reduzidas áreas planas (MENDONÇA, 2007) representando bem a microrregião de planejamento do Caparaó, Território do Caparaó, em que, numa pequena variação espacial, apresenta regiões planas e outras com declividade acentuada. Possui uma variação altimétrica entre 120 e 680 m, tendo por base as curvas de nível de 20 x 20 m das cartas do IBGE.

A metodologia utilizada para a geração e validação do MDE foi concebida para ser executada em cinco etapas, conforme descritas por Chaves (2002), Baena (2002) e Pires et al. (2005): amostragem, pré-processamento, geração, pós-processamento e avaliação do modelo.

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram necessários dados da hidrografia obtida a partir de digitalização da imagem de satélite *GEOEYE-1* (0,5 m de resolução espacial) ortorretificada, nos intervalos espectrais do visível (0,45 - 0,69 μm) e infravermelho próximo (0,78 - 0,92 μm), adquirida em novembro de 2009; dados de altimetria adquiridos de bases cartográficas planialtimétricas em formato digital nas escalas de 1:50.000, com curvas de nível com equidistância vertical de 20 m, das cartas do IBGE; limite da área de estudo; e uma amostra com 446 pontos coletados em campo. A base de dados encontra-se no

sistema de coordenadas UTM, Zona 24S, *Datum* de referência SIRGAS 2000 e unidades horizontais em metros.

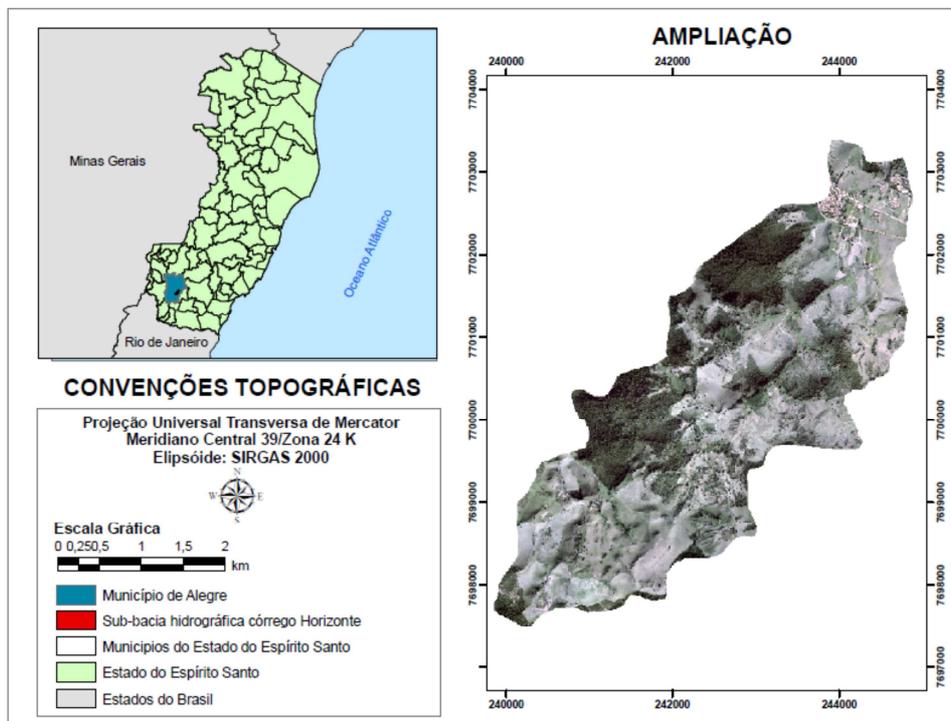


Figura 1. Localização da área de pesquisa.

Durante as coletas de campo tomou-se o cuidado para seguir as recomendações estabelecidas pela NBR 13.133/1994. Esta operação realizada com estação total tomou como referência as coordenadas e *Datum* do marco geodésico SAT 93726, que integra a Rede Geodésica do Espírito Santo (RGES/IBGE, 2005) no sistema SIRGAS 2000, uma vez que para dar início aos levantamentos de campo é necessário ter uma base conhecida ou um ponto e uma direção (AZ) para determinação das coordenadas X, Y e Z iniciais.

Conhecida as coordenadas do marco foram feitos os levantamentos com a estação total utilizando os procedimentos de levantamentos topográficos por irradiação com mudança de estação.

Adquiridos os dados, iniciou-se o pré-processamento para verificar a consistência e se necessário realizar uma edição dos mesmos. A hidrografia foi simplificada e orientada na direção de escoamento e os dados de altimetria foram copiados e transformados em pontos de vértice.

Na etapa de geração dos MDE foi utilizado o método *Topo to Raster* padrão com os seguintes dados de entrada: curvas de nível, pontos altimétricos, hidrografia orientada na direção do escoamento e limite da área.

O método *Topo to Raster* apresenta-se como um modelo digital hidrológicamente consistente por possibilitar a utilização das diversas variáveis acima (HUTCHINSON, 1989). Permite inserir linhas de drenagem para garantir a integridade do terreno na direção do escoamento superficial; buscando a remoção de *pixels* que interrompem o fluxo ao longo da rede de drenagem ou aqueles identificados como *pixels* espúrios (fechados) (HUTCHINSON, 1996). Essas operações durante o processo de interpolação geram um modelo mais suave e com a precisão sensivelmente aumentada.

Durante a execução da pesquisa foi considerada uma exatidão cartográfica de 0,2 mm, o que significa que a menor dimensão no terreno representada no mapa, ou seja, a resolução espacial das células do MDE correspondeu a 10 m ao multiplicar-se a exatidão cartográfica pelo fator de escala (1:50.000) (NASCIMENTO et al., 2006; MOREIRA, 2006).

A etapa de pós-processamento visou identificar e eliminar as depressões espúrias remanescentes nos MDE gerados na etapa anterior, garantindo a consistência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem numérica com a utilização de diversos comandos implementados no *software ArcGIS/ArcInfo 9.3*.

Essa etapa de pós-processamento foi dividida em três fases. Primeiramente, realizou-se um refinamento do MDE para remoção das depressões espúrias que surgiram após o processo de geração dos mesmos. Depois foi aplicada a técnica de *stream burning* de forma a garantir a coincidência espacial da drenagem numérica com a drenagem vetorial. Para isso, a drenagem mapeada foi transformada para o formato *raster*, com resolução de 10 m. Posteriormente, promoveu-se um rebaixamento constante de 1.000 m nos valores da altimetria das células que compõem a hidrografia *rasterizada* e a sua incorporação ao MDE por meio da substituição dos valores originais. Os comandos do módulo *Spatial Analyst* do *ArcGIS* utilizados para execução dessa etapa podem ser encontrados em Ribeiro (2003).

A segunda fase consistiu na eliminação das depressões espúrias que não foram removidas durante a geração do MDE e daquelas introduzidas durante o processo de imposição da drenagem mapeada. Para isso, utilizou-se o comando *Fill* e, em seguida, restauraram-se os valores originais da altimetria ao longo da drenagem aprofundada.

A aplicação isolada da técnica de *stream burning* e as técnicas realizadas na segunda fase do pós-processamento não garantem a caracterização de um talvegue ao longo da hidrografia, ocorrendo em determinados trechos inconsistências, pelo fato de a hidrografia poder estar situada ao longo de encostas. Em geral, tal fato ocorre nos casos em que a drenagem vetorial diverge consideravelmente da drenagem numérica. Isso faz com que a direção de escoamento das células adjacentes ao traçado da hidrografia seja divergente do fluxo natural, o que manteria a inconsistência hidrológica do MDE (CHAVES, 2002).

Para solução desse tipo de problema, utilizou-se, em uma terceira fase do pós-processamento, a técnica de refinamento de superfície apresentada por Chaves (2002) e Ribeiro (2003), a qual consiste na criação de um talvegue linear entre a margem e a hidrografia. Esse procedimento, na maioria dos casos, garante a consistência hidrológica do escoamento superficial para a calha do MDE, agora chamado de Modelo Digital Hidrológicamente Consistente (MDEHC).

Infelizmente, esses últimos procedimentos introduziram novas depressões espúrias ao longo da drenagem *rasterizada*. A solução desse problema no MDEHC, dentro da região do talvegue, pode ser implementada por meio da repetição dos procedimentos de pós-processamento.

Após o cálculo do MDEHC foi realizada as análises de performance dos modelos utilizando os índices estatísticos: coeficiente de eficiência ajustado (E') (LEGATES E MCCABE JR., 1999), média escalar dos erros (MEE) e do índice residual normalizado (IRN), definidos pelas equações a seguir:

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^j |O_i - E_i|}{\sum_{i=1}^j |O_i - \bar{O}|} \quad (\text{eq.1})$$

Em que,

- j : número de observações;
- O : valor observado experimentalmente;
- E : valor estimado pelo modelo e;
- \bar{O} : média dos valores observados experimentalmente.

$$MEE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_i|}{N} \quad (\text{eq.2})$$

Em que,

- MEE : média escalar dos erros;
- ΔX_i : discrepâncias entre as altitudes de referência e as obtidas no modelo analisado;
- N : número de pontos de controle.

$$IRN = \frac{MEE}{X_{reais}} \quad (\text{eq.3})$$

Em que,

IRN : índice residual normalizado;

MME : média escalar dos erros;

Xreais : média dos valores reais do conjunto de amostras.

Analisou-se ainda o diagrama de dispersão entre as altitudes estimadas e observadas para o MDEHC com os dados de campo coletados na área e as hidrografias numericamente derivadas dos modelos.

Após a modelagem do MDEHC extraiu-se da bacia dados da drenagem numérica, declividade e direção de escoamento.

A direção do escoamento superficial foi calculada pelo método D8 (determinístico de oito células vizinhas), que considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do modelo digital de elevação – Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste. Cada opção está associada a uma codificação numérica específica em um novo arquivo *raster* digital de mesma resolução espacial (CHAVES, 2002), como pode-se observar na Figura 2.

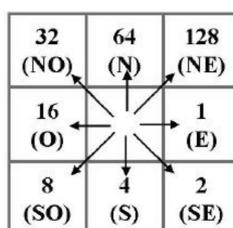


Figura 2. Possíveis direções de escoamento, codificadas em um sistema de base 2, para cada uma das células do MDE.

Fonte: Chaves (2002).

Com esse arquivo de direção de escoamento estabeleceu-se, na ausência de depressões naturais ou espúrias, a conectividade entre cada uma das células, de forma que permitiu, em conjunto com o arquivo de fluxo acumulado, a extração da drenagem numérica. Esta foi determinada utilizando um limiar de 1% da área acumulada máxima de acordo com Fan et al. (2010). Contudo, qualquer outro valor de limiar pode ser selecionado. Um valor menor de limiar irá resultar em uma rede de drenagem mais densa.

3 Resultados e discussão

Após a geração do MDE com o interpolador *Topo to Raster* observou-se o surgimento de depressões espúrias sendo encontradas 22 delas. Após a remoção dessas falhas obteve-se um MDEHC em cotas altimétricas como observado na Figura 3.

Segundo Pires et al. (2005) quanto maior o número de depressões maior a dificuldade do interpolador em realizar os procedimentos necessários para se gerar um MDE consistente. Percebe-se, que apesar de surgirem no modelo criado, essas depressões foram pouco representativas. E por isso, devem-se fazer as remoções de tais imperfeições no relevo utilizando técnicas de preenchimento das falhas e aprofundamento da hidrografia mapeada para gerar modelos com consistência hidrológica.

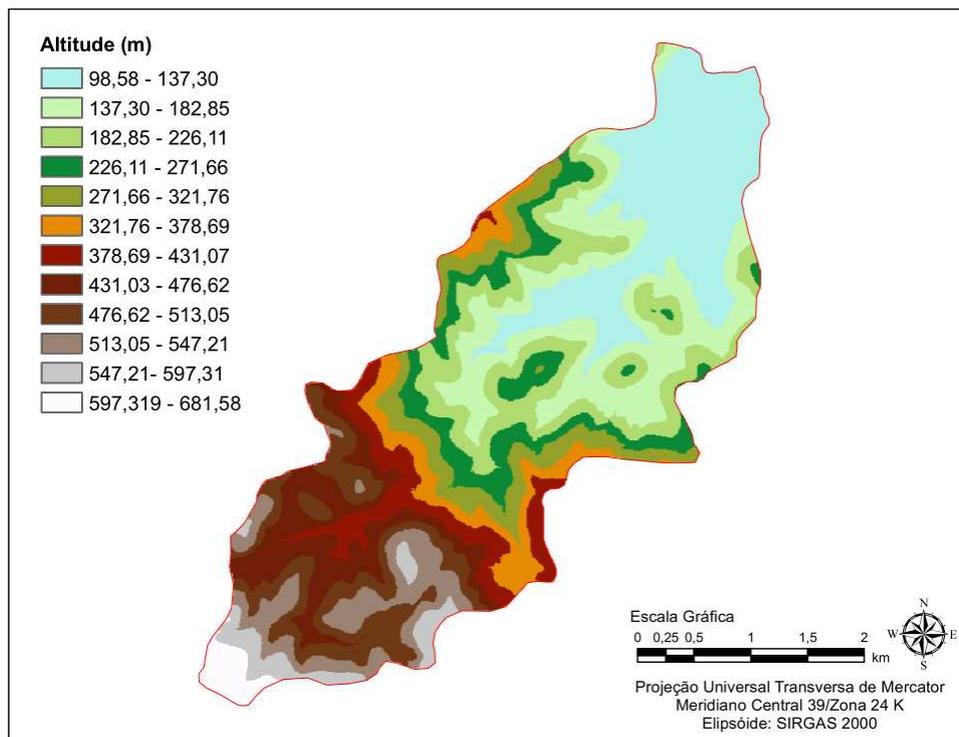


Figura 3. Variação altimétrica obtida pelo MDEHC para a área de estudo.

As análises da performance do MDEHC, feitas utilizando as amostras coletadas em campo, demonstraram que o interpolador utilizado gerou um modelo com E' de 0,677, MEE de 17,714 e IRN de 0,110. Esses valores encontrados indicam uma boa eficiência do MDEHC, apesar do valor intermediário de E' . Além disso, Silva (1999) afirma que quanto menor o valor de IRN calculado melhor será método de interpolação para o conjunto dos dados em questão.

Com os dados coletados em campo foi possível ainda realizar a análise por meio de diagrama de dispersão (Figura 4).

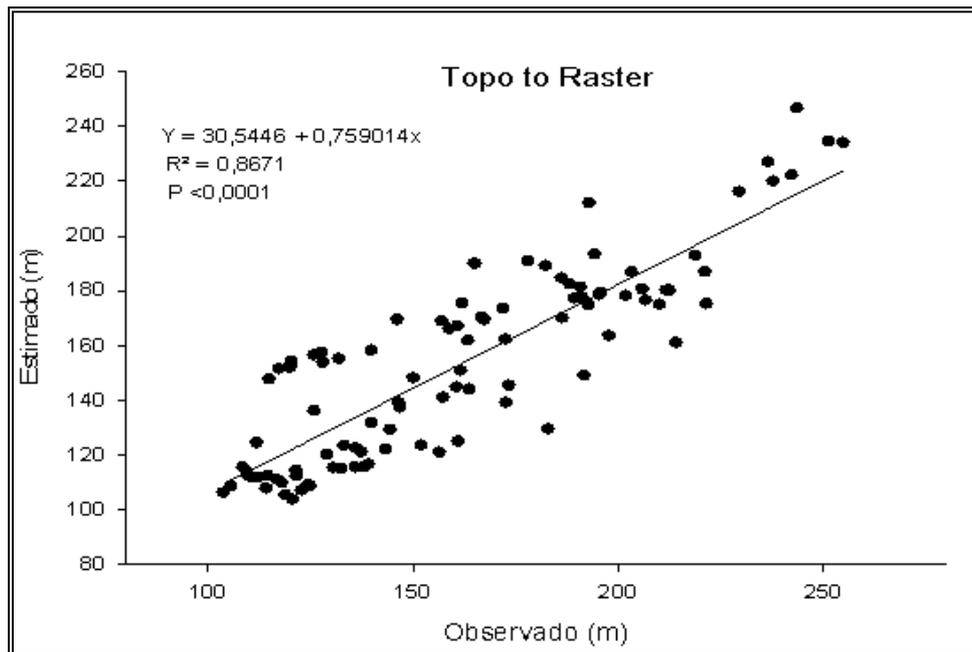


Figura 4. Diagrama de dispersão entre as altitudes interpoladas do MDEHC e as de referência coletadas em campo.

O interpolador *Topo to Raster* apresentou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8671$, representando um bom ajuste linear para essa base de dados. Entretanto, o resultado de R^2 inferior a 0,9 pode indicar alguma discrepância entre os dados de entrada do modelo (curvas de nível) e os dados de campo.

Após a geração e análise do MDEHC foi obtida a declividade média da área de estudo (Figura 5) com um valor de 31,37%, ou seja, possui um relevo fortemente ondulado (EMBRAPA, 1979).

O conhecimento da declividade é fundamental para o manejo adequado das atividades que ocorrem dentro da bacia. Sua influência está relacionada com a distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo que, por sua vez estarão diretamente relacionados com a cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas. Essas características associadas a maior declividade, aumenta a velocidade de escoamento, reduz a quantidade de água armazenada no solo e provoca enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação.

Assim, a magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo e com o manejo e uso do solo.

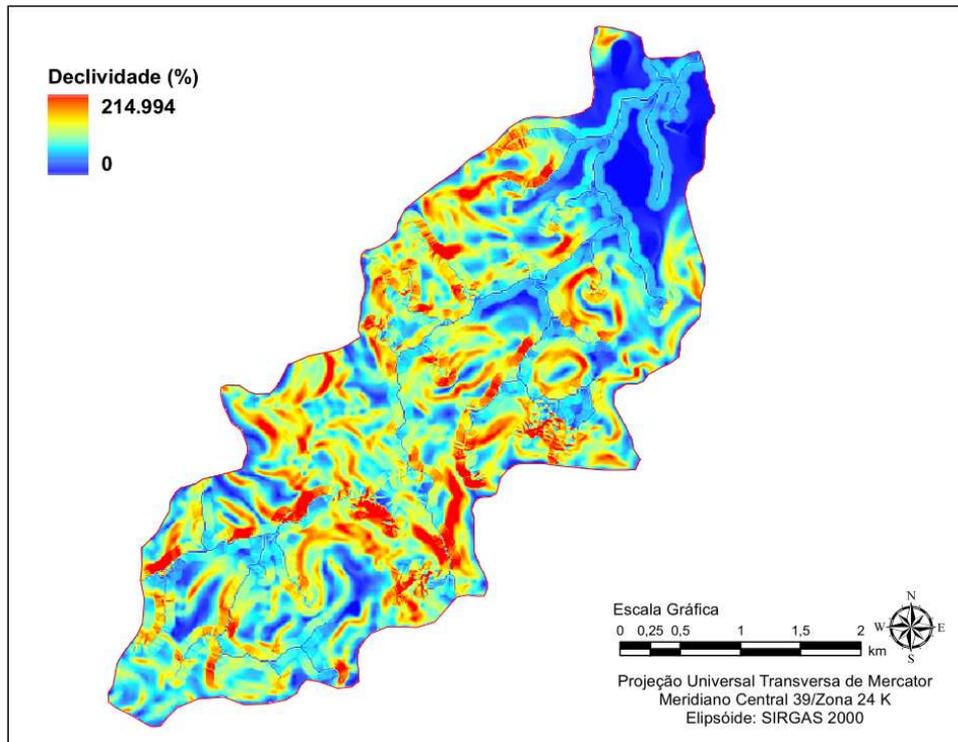


Figura 5. Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre – ES, obtido por meio do MDEHC.

A declividade, dentre outros fatores, é relevante no planejamento, tanto para o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio (ROMANOVSKI, 2001).

No estudo da delimitação das áreas de preservação permanentes é importantíssimo a correta indicação de declividade, uma vez que áreas acima de 45° ou 100% de inclinação estão protegidas por lei. Então, um MDE obtido inadequadamente poderá indicar valores incorretos e, conseqüentemente, erros na aplicação da lei.

Retornando às análises fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, nota-se que a direção de escoamento é outro fator muito importante, visto que cada célula assume um valor para o qual o escoamento superficial seguirá, considerando apenas uma das oito direções possíveis de escoamento – Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

Com esse arquivo estabelece-se, na ausência de depressões naturais ou espúrias, a conectividade entre cada uma das células, de forma a permitir, em conjunto com o arquivo de fluxo acumulado, a extração da drenagem numérica.

As características da direção de escoamento para o interpolador *Topo to Raster* podem ser observadas pela Figura 6.

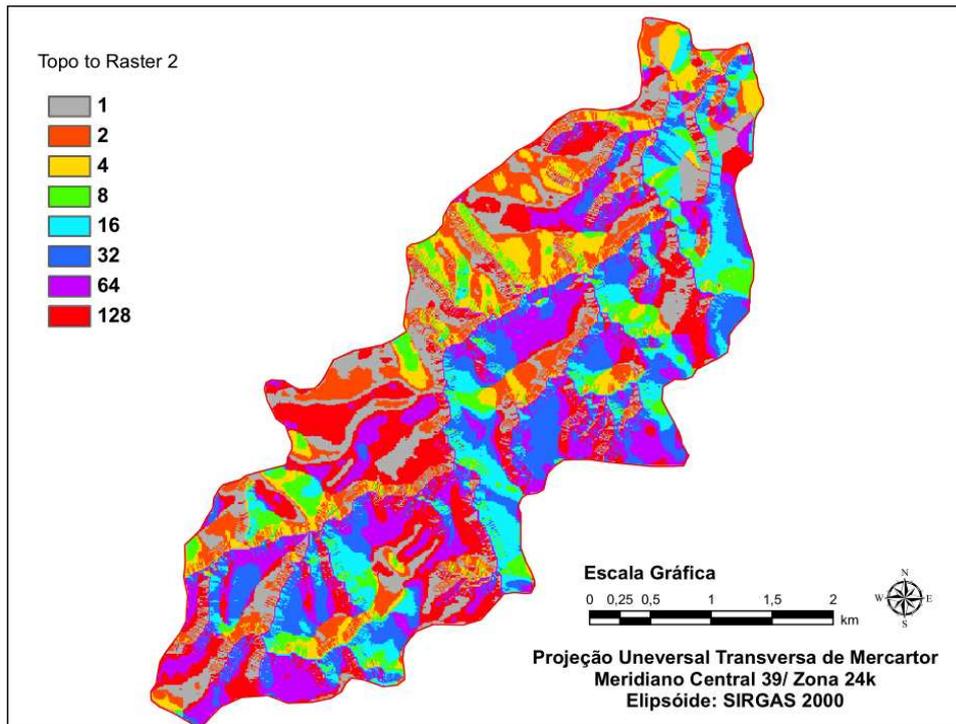


Figura 6. Direção de escoamento para a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre – ES, obtido por meio do MDEHC.

A direção de escoamento distribui-se bem para todas as direções com exceção das direções 4 e 8, Sul e Sudoeste, respectivamente (Tabela 1).

Utilizando os resultados encontrados obteve-se a drenagem vetorial extraída automaticamente do MDEHC e comparada matematicamente (análise de cruzamento) com a hidrografia mapeada (Figura 7). Percebe-se que alguns caminhos alternativos foram tomados pela hidrografia numérica coincidindo com os resultados encontrados por Pires et al., (2005) e Chaves (2002). Apesar disso a hidrografia numérica do MDEHC gerado foi de 67,80% semelhante à mapeada, ou seja, das 2870 pertencentes à hidrografia mapeada 1946 coincidiram com a hidrografia numérica.

A semelhança com a hidrografia mapeada deve-se a aplicação da técnica de *Stream Burning* que por realizar o aprofundamento da hidrografia mapeada sobre o relevo, força a hidrografia numérica a seguir o mesmo caminho.

Normalmente, essa técnica é aplicada somente sobre os modelos gerados pelo ANUDEM ou seus equivalentes (TOPOGRID e *Topo to Raster*) (HUTCHINSON, 1989), já que essa classe de interpoladores foi especialmente desenvolvida para se beneficiar dos dados de hidrografia, melhorando consideravelmente os resultados da interpolação nas regiões das calhas dos rios. Porém, não há restrições quanto a aplicação dessa técnica sobre outros interpoladores.

Tabela 1. Distribuição das direções de escoamento na superfície da área da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre – ES

Direção de escoamento	% da área
1 (E)	15,83
2 (SE)	11,80
4 (S)	8,30
8 (SO)	6,44
16 (O)	10,69
32 (NO)	13,34
64 (N)	16,45
128 (NE)	17,15

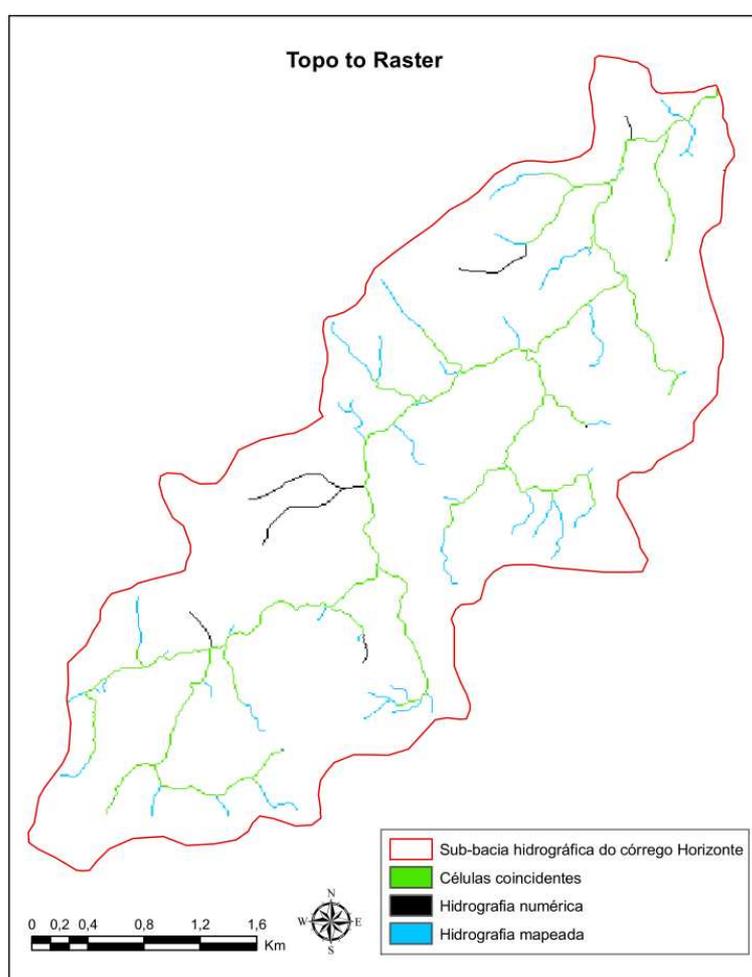


Figura 7. Coincidência (verde) da hidrografia mapeada (azul) com a hidrografia numérica (preto) do MDEHC.

Segundo Pires et al. (2005), a maior coincidência entre a hidrografia numérica e a mapeada demonstra a eficiência do algoritmo de interpolação e sua consistência hidrológica.

Com a utilização da técnica de *Stream Burning* a drenagem extraída apresentou maior consistência espacial, sendo que os segmentos onde ocorrem divergências espaciais

foram restritos a determinados locais e podem ser decorrentes do processamento dos fundos de vale inicialmente identificados na geração do modelo. Além disso, nem todos esses segmentos são provenientes de erros de interpolação, pois podem tratar-se de tributários não cartografados na escala de mapeamento.

Confirmando com os resultados dessa pesquisa, Chaves (2002), Pires et al. (2005), Moreira (2006) e Nogueira e Amaral (2009) também encontraram resultados que indicam o interpolador *Topo to Raster* como o mais adequado na definição de redes de drenagem e canais de fluxo.

4 Conclusões

Os resultados encontrados nessa pesquisa indicaram que o uso de ferramentas da geotecnologia contribuiu para se gerar um MDEHC próximo à realidade da área de estudo. Além de ter facilitado a operacionalização do estudo.

O uso da técnica de pós-processamento, *stream burning*, contribuiu para aumentar a exatidão e consistência hidrológica do modelo reduzindo o número de depressões espúrias.

O interpolador *Topo to Raster* apresentou performance satisfatória com os índices analisados sendo adequado para representar um MDEHC e para a extração de produtos como a declividade, direção de escoamento e drenagem numérica na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, Espírito Santo.

5 Referências bibliográficas

ÁLVARES, M. T. et al. **Monitorização Batimétrica em Albufeiras**. Lisboa:Tagus Park, 2001.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BARRAGÁN, J. M. et al. Análises de Calidad de Um Modelo Digital de levaciones Generado con Distintas Técnicas de Interpolación. In: Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 14., 2002, Santander. **Anais...** Santander: INGEGRAF, 2002, p. 1-12.

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

FAN, F. M. et al. **Manual arc-hydro para aplicação do modelo MGB-IPH**. Versão 2.0. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

FERNANDES, M. do C.; MENEZES, P. M. L. de. Comparação entre métodos para geração de mde para a Obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca-RJ. **RBC - Revista Brasileira de Cartografia**, n. 57, v. 02, 2005. P. 164-161, 2005.

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

_____. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE/WORKSHOP ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELING, NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS. 3., 1996, Santa Bárbara. **Proceedings...** Santa Bárbara: University of California, 1996. CD-ROM.

LEGATES, D. R.; McCABE JR., G. J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

MARTZ, L. W.; GARBRECHT, J. **Digital elevation model issues in water resources modeling: Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems**, ESRI Press, 2000.

MENDONÇA, G. S. et al. Uso de SIG no zoneamento agroecológico de pequena escala para *Araucaria angustifolia*, *Hymenaea courbaril* e *Myrcarpus frondosus* para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1741-1748.

MOREIRA, M. C. **gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

NASCIMENTO, M. C. et al. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da Bacia Hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 389-398, 2006.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 4117-4123.

PIRES, J. M. et al. Análise da Exatidão de Diferentes Métodos de Interpolação para Geração de Modelos Digitais de Elevação e Obtenção de Características Morfométricas em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005.
RGES/IBGE, 2005

RIBEIRO, C. A. A. S. **Modelos digitais hidrológicamente consistentes**. Viçosa: DEF/UFV, 2002.

_____. **Tópicos Avançados de Sistema de Informações Geográficas**. Viçosa, UFV, 2003.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos para fins de manejo da microbacia da Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo**. 2001. 99 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.