



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Conversão do modelo digital de superfície (MDS) a modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG

Hugo Henrique Cardoso de Salis¹, Adriana Monteiro da Costa², João Herbert Moreira Vianna³,
Marcos Antonio Timbó Elmiro²

Artigo recebido em 27/10/2017 e aceite em 20/06/2018

RESUMO

O aumento das ações antrópicas sobre os recursos hídricos está exigindo, cada vez mais, a correta e precisa representação cartográfica do relevo de uma bacia hidrográfica. O objetivo principal do presente trabalho é apresentar uma proposta para conversão de modelo digital de superfície (MDS) para modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG, como subsídio para análises ambientais e hidrológicas na área. A metodologia foi desenvolvida em sete etapas principais, quais sejam: a) Classificação automática da imagem Geoeye; b) Krigagem ordinária dos pontos do MDS para as áreas sem vegetação arbórea; c) Obtenção das curvas de nível; d) Obtenção de pontos correspondentes às áreas de solo exposto do MDS e obtenção da rede de drenagem; e) Obtenção do Modelo digital de elevação hidrologicamente consistido (MDEHC); f) Correção do perfil topográfico na região da rede de drenagem; e g) Análise dos resultados. Os resultados encontrados indicaram que o processamento realizado permitiu minimizar efeitos do dossel no modelo e aumentar a coerência na representatividade da superfície do relevo. O desvio padrão, de 3,9 m, confirma o melhor desempenho do MDEHC em detrimento do MDS, com valor obtido igual a 4,95m. Foi possível concluir que, de acordo com os pontos de validação obtidos em campo, o produto deste estudo apresentou uma base consistente para futuras análises hidrológicas, geomorfológicas e geoecológicas na bacia com acurácia e confiabilidade.

Palavras – chave: Geoprocessamento, Análise ambiental, TanDEM-X.

Conversion of the digital surface model to the hydrologically conditioned digital elevation model for the Córrego do Marinheiro hydrographic basin, Sete Lagoas – MG

ABSTRACT

The increase of anthropic actions on water resources is increasingly demanding the correct and accurate cartographic representation of the relief of a river basin. The main objective of the present work is to present a proposal for the conversion of a digital surface model (MDS) to a hydrologically conditioned digital elevation model (MDEHC) for the Sete Lagoas stream water catchment area, as a subsidy for environmental and hydrological analyses in the area. The methodology was developed in seven main stages, which are: a) Automatic image classification Geoeye; B) Ordinary kriging of the MDS points for areas without forest formation; C) Obtaining the contours; D) Obtaining points corresponding to the exposed soil areas of the MDS and obtaining the drainage network; E) Obtaining the Hydrologically Consistent Digital Elevation Model (MDEHC); F) Correction of the topographic profile in the region of the drainage network; And g) Analysis of results. The results indicated that the processing allowed to minimize canopy effects in the model and to increase the coherence in the representativeness of the surface of the relief. The standard deviation of 3.9 m confirms the better performance of the MDEHC over the MDS, with a value of 4.952 m. It was possible to conclude that, according to the validation points obtained in the field, the product of this study presented a consistent basis for future hydrological, geomorphological and geoeological analyzes in the basin with accuracy and reliability.

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: hugohcsalis@gmail.com (autor correspondente).

²Professor(a) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), lotado(a) no Departamento de Cartografia e no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. E-mail: drimonteiroc@gmail.com; timboelmiro@gmail.com. ³Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), unidade EMBRAPA Milho e Sorgo. E-mail: joao.herbert@embrapa.br

Keywords: Geoprocessing, Environmental analysis, TanDEM - X.

Introdução

O aumento das ações antrópicas sobre os recursos hídricos está exigindo, cada vez mais, a correta e precisa representação cartográfica do relevo de uma bacia hidrográfica. Essa representação fornecerá informações importantes para o diagnóstico e gerenciamento dos seus recursos ambientais. Dentre as maneiras de caracterizar o relevo de uma bacia, os modelos digitais de elevação ou modelos digitais de superfície têm se tornado um elemento fundamental para o conhecimento do local. O primeiro por representar o terreno ao nível do solo sem a interferência de benfeitorias e vegetação e o segundo por representar o relevo considerando esses respectivos componentes (Ribeiro e Ferreira, 2014).

Os modelos digitais de superfície são resultados somados de avanços tecnológicos e de esforços para extração automática de elementos e características geomorfológicas do terreno, por meio de representações matemáticas, oriundas de informações básicas de latitude, longitude e altitude (X, Y e Z) de determinado local (Johnston e Rosenfeld, 1975). Alguns modelos digitais de superfície apresentam elevada quantidade de depressões espúrias, outros apresentam informações do terreno considerando benfeitorias e cobertura vegetal, que, do ponto de vista hidrológico, necessitam de correções prévias (Chagas et al., 2010). Realizada as correções, o modelo digital de superfície apresentará consistência hidrológica. Ou seja, permitirá produzir um modelo hidrológico condizente com o real para análises e estudos de diversas naturezas.

O modelo de elevação hidrologicamente condicionado pode ter diferentes finalidades como caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, cálculo de perdas anuais de solos, delimitações de APPs de cursos d'água e topos de morro, regionalização de vazões, cálculo de fatores topográficos e unidades de paisagem, mapeamento de áreas de risco de inundação, entre outros (Baena et al., 2004; Guimarães e Da Penha, 2009; Elebson et al., 2011; Pinto e Rossete, 2012; Coutinho et al., 2014).

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo principal apresentar uma proposta para conversão de modelo digital de superfície para modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, como subsídio para análises ambientais e hidrológicas na área.

Material e métodos

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro (Figura 1), localizada no município de Sete Lagoas - MG, entre as coordenadas planas: Leste 581100,3 a 587493,5 e Norte 7841747,5 a 7847420,3, datum geodésico SIRGAS 2000 e projeção UTM 23 sul, com área de 1480 ha. Fisionomicamente, a bacia está inserida no bioma Cerrado e, também, apresenta fragmentos de vegetação nativa predominantemente do tipo floresta semidecidual montana, típica do bioma Mata Atlântica (Costa et al., 2015). Também apresenta áreas antropizadas com plantios de culturas anuais e pastagens para criação de gado (Scolforo, 2008).

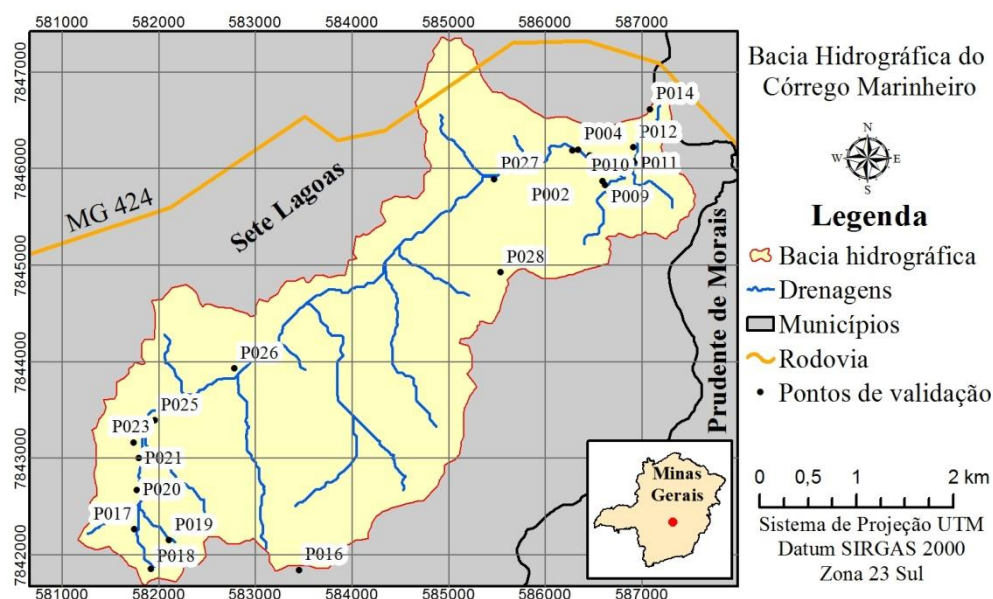


Figura 1 – Localização da área de estudo

Os materiais utilizados no estudo foram: a) Modelo Digital de Superfície (MDS) de 2014, proveniente do satélite TanDEM-X do Centro Aeroespacial Alemão (DLR), de resolução espacial de 12 m (Wessel, 2013); b) cenas do satélite Geoeye (resolução espacial de 0,5 metros), referente ao mês de maio de 2015; c) GPS Ashtech Promark 2 de frequência única (L1); e d) Software Arcgis versão 10.3 (ESRI, 2013).

O método foi desenvolvido em sete etapas principais, quais sejam: a) Classificação automática da imagem Geoeye; b) Conversão de raster para pontos e Krigagem ordinária dos pontos do MDS para as áreas sem vegetação arbórea; c) Obtenção das curvas de nível; d) Obtenção de pontos correspondentes às áreas de solo exposto do MDS e obtenção da rede de drenagem; e) Obtenção do Modelo digital de elevação hidrologicamente consistido (MDEHC); f) Correção do perfil topográfico na região da rede de drenagem; e g) Análise dos resultados.

Na primeira etapa, de classificação automática da imagem Geoeye, o primeiro passo foi o pré-processamento da cena, utilizando-se filtragem e realce de contraste para atenuação dos efeitos das sombras das nuvens e do relevo nas bandas 1, 2 e 3. Em seguida, foi realizada a seleção de amostras de treinamento e a classificação automática, no software Arcgis 10.3, por meio do classificador por máxima verossimilhança. Por último, foi realizado o pós-processamento e refinamento, com substituição de células da imagem classificada com base nas células vizinhas.

Na segunda etapa, primeiramente converteu-se o formato raster do MDS para o formato vetor do tipo pontos e, em seguida, realizou-se o recorte dos pontos referentes a áreas com presença de vegetação de porte arbóreo, cruzando-se o MDS com a imagem classificada. Por último, realizou-se a krigagem ordinária para interpolação dos pontos sem as áreas vegetação arbórea, assumindo-se que a média constante é desconhecida. A fórmula geral para o cálculo da krigagem é baseada na seguinte equação (Royle et al., 1981):

$$x_p = \sum_{i=1}^N \lambda_i X_i$$

Onde x_p é a variável interpolada; X_i é o valor da variável na i -ésima localidade vizinha; λ_i peso desconhecido, estabelecido com base no

semivariograma para o valor medido na i -ésima localização; N é o número de valores medidos.

Na terceira etapa, foram obtidas as curvas de nível, a partir do raster resultante da interpolação dos pontos sem as áreas de vegetação arbórea, adotando-se uma equidistância vertical de 10 m. Com os dados interpolados, foi realizada a extração da rede de drenagem por meio do comando “*Stream Order*” do Arcgis 10.3 e, em seguida foi realizado o refinamento do resultado para extração de linhas que não correspondem à canais de drenagem de água na bacia com base em trabalho de campo.

Logo após, foram extraídos os valores dos pontos referentes aos locais de solo exposto no MDS, considerando-se que essa classe representa a elevação da superfície do terreno na bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, com interferência desprezível da vegetação e/ou de benfeitorias na área.

Na quinta etapa, foi realizada nova interpolação dos dados utilizando-se o comando “*Topo to raster*” do Arcgis 10.3. Esse método é projetado especificamente para criação de modelos digitais de elevação hidrologicamente condicionados (MDEHC) a partir de informações extraídas (em conjunto) de pontos representantes da superfície de elevação, de curvas de nível, da rede de drenagem e de polígono do limite da bacia (Hutchinson, 2011).

Na sexta etapa, o primeiro passo foi a extração da rede de drenagem do MDEHC e depois a aplicação o comando “*negate*” para inverter os valores raster da hidrografia, multiplicando por -1. A inversão foi realizada para corrigir as depressões espúrias nas regiões dos cursos d’água da bacia, utilizando-se o comando “*Fill*”. Em seguida, retornou-se a hidrografia para seu valor original e substituiu-se as células corrigidas no MDEHC original.

Na última etapa foi realizada a comparação dos resultados obtidos do MDEHC com os valores do MDS e os valores de 25 pontos de validação precisos, cotados na bacia hidrográfica do córrego do Marinheiro, via GPS geodésico de frequência única.

Resultados e discussão

A classificação da imagem Geoeye para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro por meio do classificador por máxima verossimilhança permitiu obter cinco classes de uso e cobertura do solo, quais sejam: Área cultivada, corpo hídrico, vegetação arbórea, pastagens e solo exposto

(Figura 2). Cada classe de uso e ocupação do solo tem potencial de influenciar diretamente na precisão altimétrica das informações do relevo

local o que evidencia a importância de conhecer a abrangência espacial das mesmas.

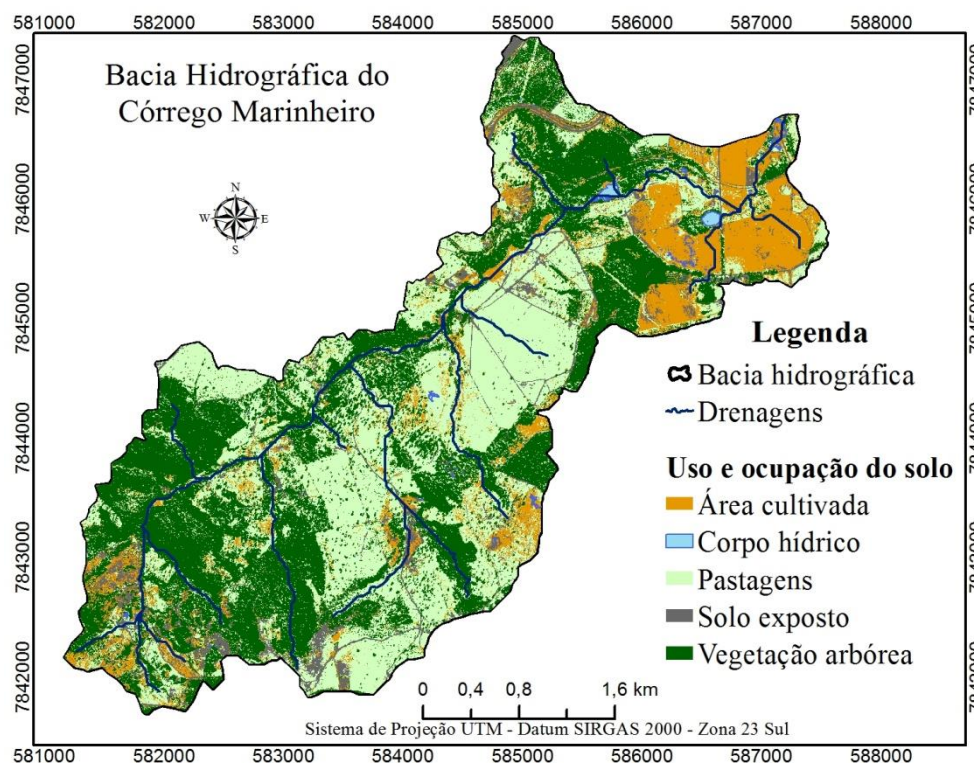


Figura 2 – Distribuição espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG

Observando a Figura 2 é possível identificar que a classe de vegetação arbórea é a que mais pode alterar os valores de altimetria da área devido as dimensões de suas alturas, além disso, essa classe está distribuída por toda a bacia, com presença mais concentrada nas porções altas, próximas à cabeceira, também ao longo do curso d'água principal e na porção nordeste da bacia, que, por sua vez, apresenta um fragmento remanescente

de floresta plantada, em estágio adulto de desenvolvimento.

A classe de uso e cobertura do solo do tipo vegetação arbórea também é, especialmente, a mais abrangente na área, representando 40,5% da bacia, aproximadamente 100,6 ha (Tabela 1).

A segunda classe mais abrangente é a de pastagens, representando 38% da bacia. As classes de solo exposto, área cultivada e corpo hídrico, somados, correspondem a 21,4%.

Classe	Área (hectares)	%
Área cultivada	213,1	14,4
Corpo hídrico	4,4	0,3
Pastagens	599,4	40,5
Solo exposto	562,4	38
Vegetação arbórea	100,6	6,8
Total	1.480	100

Tabela 1 - Dimensões das classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG.

De acordo com os procedimentos metodológicos adotados, foi possível obter um MDEHC que desconsidera a presença de vegetação

arbórea de grande porte, minimiza os efeitos das regiões de pastagens e de áreas cultivadas e

preserva os valores altimétricos das áreas de solo exposto (Figura 3).

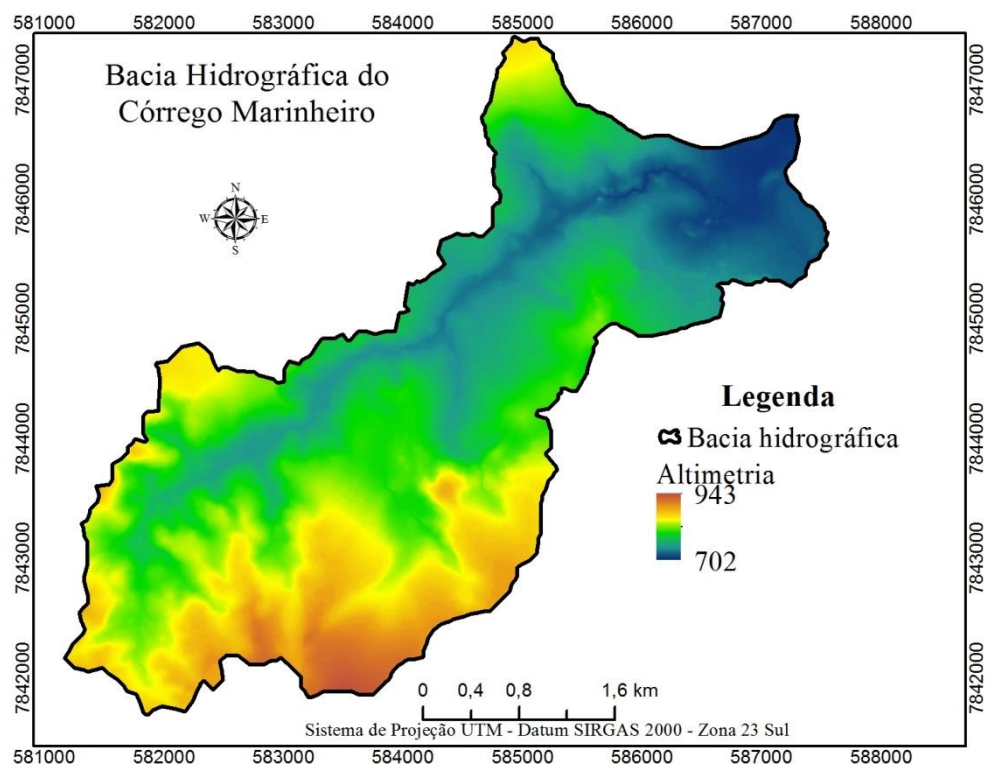


Figura 3 – Modelo digital de elevação hidrológicamente condicionado para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG

Observando a Figura 3 é possível identificar a distribuição espacial altimétrica da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, indicando um intervalo de altitudes variando entre 702 e 943 metros. A altitude média encontrada foi de 801 m e o desvio padrão de 53 m. Esses valores vão influenciar diretamente na representação da

paisagem e determinar as relações entre diferentes elementos geomorfológicos e sua dinâmica. A distribuição espacial das classes de altitude da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro são apresentadas na Tabela 2 e comparadas com os valores do MDS.

Tabela 2 – Distribuição espacial das classes de altitude do MDEHC e do MDS na bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro

Classe de altitude (m)	MDEHC		MDS	
	Hectares	%	Hectares	%
702 a 730	142,9	9,7	143,56	9,6
730 a 760	221,6	15	222	14,5
760 a 790	284,8	19,2	284,16	19,4
790 a 810	196,3	13,3	196,84	13,1
810 a 840	243,3	16,4	242,72	16,6
840 a 870	220,6	14,9	220,52	15,2
870 a 900	115,4	7,8	115,44	7,8
900 a 930	48,5	3,3	48,84	3,4
930 a 960	6,6	0,4	5,92	0,5
Total	1480	100	1480	100

Observando a Tabela 2 é possível verificar a distribuição espacial das classes altimétricas na área de estudo, demonstrando que a classe variando de 760 a 790 m, representa 19,2%, da área e foi a que apresentou maior abrangência espacial. Além disso, baseado na distribuição espacial das 9 classes altimétricas determinadas, observou-se que não houve diferenças numéricas expressivas entre o MDEHC e o MDS, indicando que o método

proposto realizou apenas refinamentos locais (Figura 4) e conservou os parâmetros metodológicos de obtenção dos dados do MDS (Tandem-X), ou seja, os dados topográficos levantados inicialmente não sofreram mudanças significativas a ponto de invalidar a técnica, interferométrica, utilizada originalmente na obtenção do dado primário.

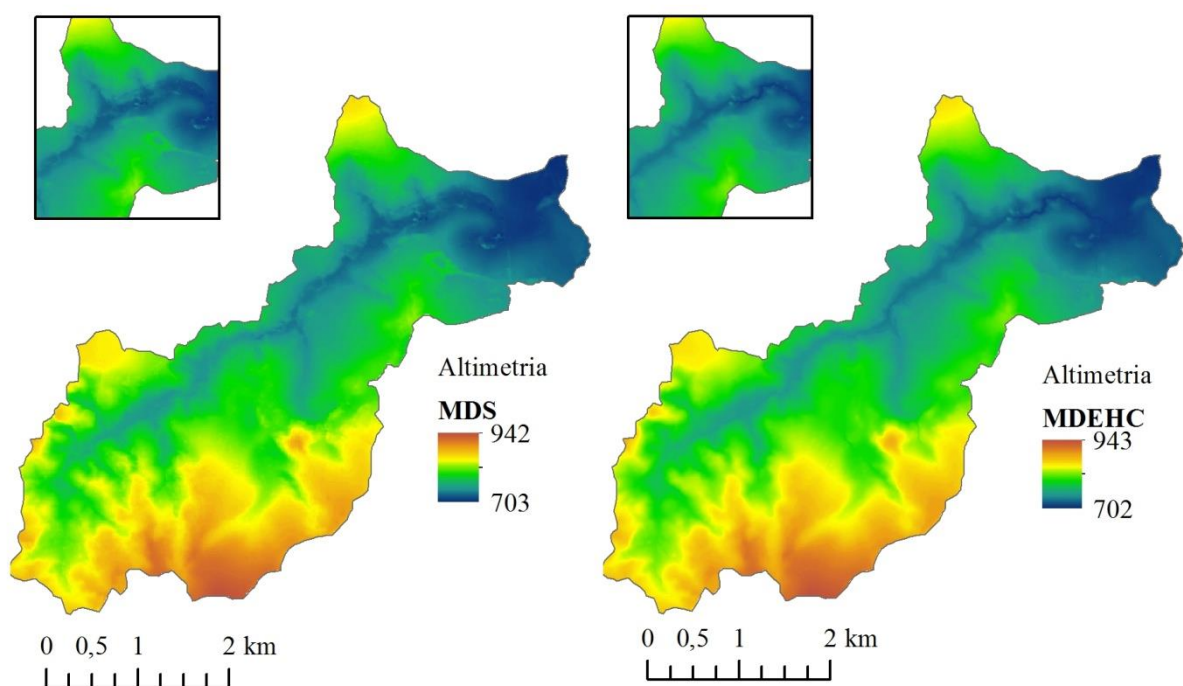


Figura 4 – Comparação visual entre o MDS e o MDEHC da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro

Observando a Figura 4 é possível verificar a melhoria da acurácia vertical obtida após o processamento do MDS e obtenção do MDEHC. A representação da superfície teve maior detalhamento devido à retirada da interferência do dossel da vegetação arbórea, além disso, os ruídos em regiões próximas aos cursos d'água foram atenuados e o perfil da rede de drenagem foi corrigido de forma a determinar o caminho preferencial da água nas áreas de drenagens.

Ressalta-se que, os valores de altitude máximo e mínimo nos dois modelos apresentam

similaridades, indicando que nas porções mais elevadas e mais baixas da bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro não há interferência significativa da vegetação arbórea. Nas regiões mais altas há o predomínio da classe de uso e ocupação do tipo pastagens e nas regiões baixas o predomínio das áreas cultivadas (Figura 2). A correção das incertezas na representação topográfica do MDS apresentou diferenças altimétricas pontuais em relação aos resultados obtidos no MDEHC (Figura 5).

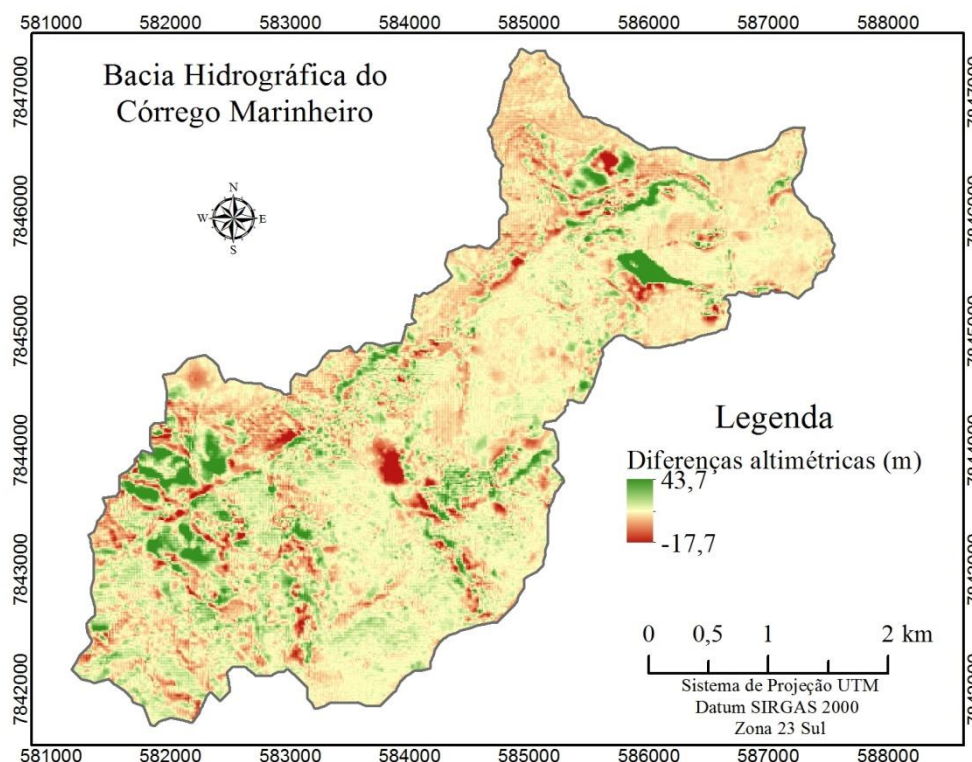


Figura 5 – Distribuição espacial das diferenças altimétricas, em metros, entre o MDS e o MDEHC da bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro

A Figura 5 apresenta as diferenças altimétricas (m) na bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro por meio de regiões em destaque com tons de verde e regiões em destaque com tons de vermelho. As regiões em tons de verde (limite superior de 43,7 m) são locais com máxima diferença positiva entre o MDS e o MDEHC e correspondem a porções da bacia com presença de vegetação arbórea de grande porte e relevo com valores exagerados no dado original, em relação ao nível do solo. Já as regiões destacadas em tons de vermelho (limite inferior de -17,7 m), são as porções da área de maior diferença negativa e são locais onde há depressões espúrias na bacia. O valor médio das diferenças encontradas foi de 12,5 m valor que pode ser condizente com as alturas médias referentes a espécies florestais nativas e presentes na bacia, que juntas são a classe espacialmente mais predominante na área (Lima et al., 2008; Carvalho et al., 2010).

Ressalta-se que, no presente estudo, os dados iniciais foram convertidos do Datum WGS 84, zona 23 sul para o Datum SIRGAS 2000, zona 23 sul, ambos apresentando as representações altimétricas com base elipsoidal, assim como os pontos geodésicos obtidos em campo. Os resultados da avaliação da precisão dos dados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2 é possível observar que a maior diferença altimétrica entre os pontos de validação obtidos pelo GPS geodésico e o MDS foi de -15,26 m (Ponto 16), esse valor indica que o MDS superestimou em mais de quinze metros a altura real da superfície no ponto em destaque. Já a maior diferença máxima obtida no MDEHC foi de -9, m (Ponto 20), indicando que o processamento realizado permitiu minimizar efeitos do dossel no modelo e aumentar a coerência na representatividade da superfície do relevo.

Os valores de diferença média corroboram com a análise anterior. Dos 25 pontos de validação cotados com o GPS, a diferença média dele com o MDS foi de -3,22 m, já com o MDEHC a diferença média dos pontos de validação foi menor, de -1,08 m. Ou seja, esse valores evidenciam que no MDS houve uma superestimação da altura média nos pontos de mais de três metros e no MDEHC o valor superestimado médio foi, aproximadamente, 1 metro. O desvio padrão, de 3,9 m, confirma o melhor desempenho do MDEHC em detrimento do MDS, com valor obtido igual a 4,95m.

Em estudo realizado numa planície costeira localizada no norte do estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de construir um modelo digital de terreno (MDT) e comparar com o MDT disponibilizado pelo IBGE, foi possível obter resultados que demonstraram considerável nível de

incerteza vertical do segundo modelo, indicando a necessidade utilizar métodos que produzissem

representações digitais consistentes do relevo (Folharini et al., 2015).

Tabela 2 - Comparação das alturas elipsoidais obtidas por meio de pontos cotados via GPS geodésico, MDS e MDEHC

Ponto	Alturas elipsoidais (m)			Diferença (m)	
	GPS geodésico	MDS	MDEHC	GPS ≠ MDS	GPS ≠ MDEHC
1	721,27	725,46	720,38	-4,19	0,89
2	721,93	721,71	716,58	0,21	5,35
3	718,29	724,78	713,91	-6,49	4,38
4	714,61	720,46	716,97	-5,85	-2,36
5	716,65	715,83	713,31	0,82	3,35
6	712,37	710,98	710,44	1,39	1,93
7	713,23	712,85	710,87	0,38	2,36
8	713,05	712,87	711,80	0,18	1,25
9	711,61	714,14	714,11	-2,53	-2,49
10	713,56	710,03	711,38	3,53	2,18
11	709,14	708,82	709,13	0,32	0,01
12	706,74	707,19	706,99	-0,45	-0,25
13	701,79	705,43	702,00	-3,64	-0,21
14	703,88	705,86	706,31	-1,98	-2,43
15	946,46	945,41	942,53	1,05	3,93
16	818,77	834,03	822,51	-15,26	-3,73
17	848,39	851,03	850,94	-2,63	-2,55
18	850,46	855,33	854,36	-4,87	-3,90
19	807,18	814,84	812,65	-7,66	-5,47
20	775,97	786,22	784,98	-10,24	-9,00
21	771,89	781,12	780,81	-9,23	-8,92
22	766,88	774,79	771,56	-7,91	-4,68
23	749,52	751,76	753,61	-2,25	-4,09
24	722,78	729,19	727,39	-6,41	-4,61
25	821,10	817,89	818,86	3,21	2,23
	Média			-3,22	-1,08
	σ			4,59	3,93

Recentemente, em estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Doce, que se encontra nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, foi executada a elaboração do MDEHC em comparação com o modelo digital de elevação da mesma área. Os resultados obtidos demonstraram a

necessidade de modelos com qualidade satisfatória, para o correto desenvolvimento da metodologia de geração do modelo hidrológico, visto que houve variação na direção do fluxo de água com a mudança do MDE para MDEHC (Cardoso et al., 2016).

Considerações finais

A extração dos pontos referentes à classe de uso e ocupação do solo do tipo formações florestais permitiu aumentar a acurácia da representação do relevo na área de estudo por meio do MDEHC.

Ressalta-se que o processamento do MDEHC só foi possível devido às datas de obtenção do modelo digital de superfície (ano de 2014) e a data da imagem Geoeye (ano de 2015) estarem próximas, sugerindo que, no intervalo entre obtenção de cada dado, não houve mudanças significativas na superfície do terreno, principalmente, mudanças na cobertura vegetal de grande porte ou na construção de benfeitorias.

De acordo com os pontos de validação obtidos em campo, o produto deste estudo apresentou uma base consistente para futuras análises hidrológicas, geomorfológicas e geoecológicas na bacia, podendo garantir acurácia e confiabilidade.

Agradecimentos

À FAPEMIG pelo apoio financeiro À EMBRAPA Milho e Sorgo pelo apoio técnico e financeiro, ao Laboratório de topografia do Instituto de Geociências da UFMG pelo empréstimo do GPS geodésico e ao Centro Aeroespacial Alemão (DLR) pelo fornecimento do MDE.

Referências bibliográficas

- Baena, L. G., SILVA, D. D., Pruski, F. F., Calijuri, M. L., 2004. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul. *Engenharia Agrícola*, 24(3), 612-624.
- Cardoso, F. A. C., de Paula, D. L. P., Mor, R. C. D. A. M., Maia, J. L., e Vieira, E. M., 2016. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente para a bacia do rio Doce: Elaboração e Análise *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(6), 1978-1989.
- Carvalho, A. M., Gonçalves, M. D. P. M., Amparado, K. D. F., Latorraca, J. V. D. F., Garcia, R. A., 2010. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. *Rev. Árvore*. 34(2), 323-331.
- Chagas, C. S., Elpídio Filho, I. F., Rocha, M. F., Júnior, W. D. C., Neto, N. C. S., 2010. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 14(2), 218 – 226.
- Costa, T. C. e C. da, Silva, A. F., Oliveiras, L. M. T. D., Viana, J. H. M., 2015. Probabilistic classification of arboreous and shrub vegetation on phytogeographic system. *Journal of Environmental Science and Engineering B, Libertyville*, 4(6), 315-330.
- Coutinho, L. M., Cecílio, R. A., de Oliveira Garcia, G., Xavier, A. C., Zanetti, S. S., Moreira, M. C., 2014. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Revista Agro@ambiente [On-line]*, 8(1), 01-09. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i1.1454>. Acesso: 25 abr. 2017.
- Elesbon, A. A. A., Guedes, H. A. S., Da Silva, D. D., de Castro, I., 2011. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus-Brasil. *Rem: Revista Escola de Minas*, 64(3), 281-288.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS for Desktop. Versão. 10.3. Redlands: ESRI, 2013.
- Guimarães, N. A., da Penha, J. W., 2009. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de Muriaé-MG, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, 3875-3882.
- Hutchinson, M. F., 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling (Vol. 133)*. Columbus, Ohio: International Geographical Union.
- Johnston, E. G., Rosenfeld, A., 1975. Digital detection of pits, peaks, ridges, and ravines. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 4, 472-480.
- Lima, J. R., Sampaio, E. V. D. S. B., Rodal, M. J. N., Araújo, F. S., 2008. Estrutura da floresta estacional decidual montana (Mata Seca) da RPPN Serra das Almas, Ceará. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(S2), 438-440.
- Folharini, S., De Oliveira, R. C., Dos Santos Furtado, A. L., 2015. Metodologia para conversão de Modelo Digital de Elevação em Modelo Digital do Terreno. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE*.
- Pinto, C. E. T., Rossete, A. N., 2012. Mapeamento dos conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica do Corrego capitão decio, Nova

- Xavantina-MT. *Ciência e Natura*, 34(2), 139-155.
- Ribeiro, H. J., Ferreira, N. C., 2014. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrologicamente consistentes. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 20(4), 784-805.
- Scolforo, J. R., Mello, J. M., Silva, C. P. De C.(Ed.), 2008. Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas aptas para o Manejo Florestal. Ed. Editora universitária da UFLA, Lavras, cap. 5, p.255-335.
- Thompson, S.K., 1992. *Sampling*. New York, Wiley-Interscience Publication, 343p.
- Royle, A. G., Clausen, F. L., Frederiksen, P.,1981. Practical universal kriging and automatic contouring. *Geoprocessing*, 1, 377-394.
- Wessel, B. TanDEM-X Ground Segment – DEM, Products Specification Document. Project Report.EOC, DLR, Oberpfaffenhofen, Germany, Public Document TD-GS-PS-0021, Issue 3.0. 2013. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/93565/>>.