

Utilização de Geotecnologias para Determinação do Modelo Digital de Elevação hidrologicamente consistente e Áreas de Preservação Permanente

Kelison Jubini Machado ¹
Carlos Antônio Oliveira Vieira ²
Daniel Marçal de Queiroz ³
Elder Sânzio Aguiar Cerqueira ⁴

UFV – Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Viçosa – UFMG
36.570-000 Viçosa MG - Brasil
kelison@vicosa.ufv.br ¹
carlos.vieira@ufv.br ²
queiroz@ufv.br ³

UNIMONTES/Departamento de Ciências Agrárias.
Universidade Estadual de Montes Claros
39440-000 Janaúba MG - Brasil
elder@vicosa.ufv.br ⁴

Resumo: Dentre as características dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) pode-se destacar a confiabilidade, replicabilidade e economia de tempo. Essas características possibilitam diversas aplicações, como a geração de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC). Pode-se dizer também que os modelos digitais de elevação (MDE) e os MDEHC permitem delimitações mais exatas das bacias, pois consideram os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento. Este trabalho tem como objetivo apresentar os principais procedimentos relacionados ao desenvolvimento do MDEHC, comparando os métodos de interpolação usados para sua geração, em uma micro-bacia, assim como delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) utilizando técnicas de geoprocessamento. As soluções aqui apresentadas, no formato matricial do programa computacional ArcGIS, desempenham um importante papel na melhoria da exatidão na determinação de APPs. Como resultados, foram encontradas diferenças significativas em relação aos métodos de interpolação empregados na geração dos MDEHC. Também foi possível delimitar uma área de 48,5611 hectares de APP, com o uso das técnicas propostas.

Palavras chaves: Geoprocessamento, Modelos Digitais de Elevação, Áreas de Preservação Permanente

Abstract: Among the Geographic Information Systems (GIS) features can be stress the reliability, replicability and time economy. These features enable different applications, such as generation of Hydrologically Consistent Digital Elevation Models (MDEHC). The Digital Elevation Models (MDE) and MDEHC allow more precise definitions of basins, because topographic data are considered in their stages of processing. This work aims to present the main procedures related to the development of MDEHC, comparing interpolation methods used for its generation, in a micro-watershed, as well to delimitate the Permanent Preservation Sites (PPS) using geoprocessing techniques. The solutions presented here are in the matrix format, and play an important role on the accuracy improvement in PPS delimitation. The results shown significant differences in interpolation methods used to generation of MDEHC. It was also possible to delimit an APP area of 48.5611 hectares, using its proposals techniques.

Keywords: Geoprocessing, Digital Elevation Models, Permanent Preservation Sites

1 Introdução

Com o advento da tecnologia o Geoprocessamento, a qual pode ser definida como sendo um conjunto de técnicas destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, as quais abrangem, entre outras técnicas: os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR) (GOODCHILD, 1986). Entre as características das ferramentas que compõem o SIG pode-se destacar a confiabilidade, replicabilidade, economia de tempo e de mão de obra, na geração de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) e resultados, que no contexto da informação digital, podem ser facilmente integrados a outras bases de dados. Neste sentido, os modelos digitais de elevação (MDE) e os MDEHC permitem que as delimitações das bacias sejam realizadas com maior precisão, pois consideram os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento (RIBEIRO, 2005).

Com a geração mais precisas dos MDE's, tem-se o propósito de automatizar o delineamento das áreas preservação permanente e das respectivas redes de drenagem.

Normalmente os processos de geração dos MDE's baseiam-se na interpolação espacial de dados esparsos, geralmente obtidos da digitalização de curvas de nível e de pontos cotados de mapas e/ou de levantamentos planialtimétricos. Assim, a utilização de interpoladores para a representação do relevo introduz distorções - suavização e depressões espúrias, que limitam excessivamente a utilização dos MDE's, por descaracterizarem a rede de drenagem e, conseqüentemente, o escoamento superficial (HUTCHINSON, 1996).

O método para geração do MDEHC utiliza uma técnica de interpolação baseada em diferenças finitas iterativas para gerar um GRID, a partir de pontos e curvas de nível, possibilitando ainda a imposição de linhas de ruptura tais como: divisores de água e rede de drenagem; em que o resultado é um MDE dito hidrologicamente consistente (MDEHC) por haver uma coincidência acentuada entre a rede de drenagem derivada numericamente e a hidrografia real (ESRI, 1997).

Esse desenvolvimento do MDEHC aliado ao aperfeiçoamento de técnicas mais precisas na extração de drenagem numérica e delimitação de bacias hidrográficas, proporciona o uso de Sistemas de Informações Geográficas para obtenção automática das Áreas de Preservação Permanente. Desta forma, garantindo vantagens na automação, em relação aos procedimentos manuais, maior eficiência dos processos e obtenção de resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais (BAENA, 2002).

2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo a utilização de técnicas de geoprocessamento para desenvolvimento do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), comparando os métodos de interpolação usados na geração dos modelos de MDEHC em uma microbacia localizada no município de Araponga - MG, bem como delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

3 Material e Métodos

3.1 Material

A área de estudo está localizada no município de Araponga, MG, denominada Fazenda Braúna, e têm coordenadas geográficas da sede da fazenda sendo 20°43' de Latitude Sul e 42°33' de Longitude Oeste. A região é caracterizada por uma topografia relativamente acidentada e intercalada por áreas planas.

Na propriedade foi realizado um levantamento topográfico, onde se coletou 21.832 pontos, utilizando-se dois pares de receptores GPS diferencial modelo ProXRS da Trimble.

No processamento do levantamento topográfico, aplicou-se o modo pós-processado dos dados, usando o programa *Pathfinder Office 2.9*. Com as coordenadas tridimensionais planas, realizou-se o processamento dos dados, visando à obtenção do modelo digital de elevação. Na Figura 1 é apresentado os pontos coletados pelos receptores GPS.



Figura 1 – Pontos de coordenadas planialtimétricas obtidas com os receptores GPS

3.2 Metodologia

Com os pontos coletados pelos receptores GPS, iniciou-se o tratamento dos dados no ArcGIS através do aplicativo *ArcToolbox* para converter do DWG para *Geodatabase*.

Na *Geodatabase* importou-se as curvas de nível geradas de 5 em 5 metros, mais hidrografia e o limite da propriedade, para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizando dois métodos: primeiramente, no ArcGIS através da Rede Irregular de Triângulos (TIN) por interpolação de triângulos, e posteriormente no *ArcInfo* - TOPOGRID.

Os procedimentos para a geração do MDEHC eliminam, de forma sistemática as depressões espúrias, pois tais depressões interrompem o escoamento superficial da água, gerando imperfeições no modelo, cujo escoamento deve ser direcionado à jusante da bacia de contribuição.

De acordo com *Tribe* (1992), a ocorrência dessas imperfeições é freqüente nos modelos digitais de elevação, devido a erros nos parâmetros de entrada ou produzidos durante o processo de interpolação. Portanto, para se obter um MDE consistente, essas depressões espúrias devem ser removidas. Para identificar e remover as imperfeições aplica-se o processamento de consistência hidrológica com o algoritmo *Fill Sinks*, presente no módulo *Spatial Analyst - Hydrology* do ArcGIS – *ArcToolbox*.

No procedimento para a geração do MDEHC utilizando o TOPOGRID necessitou de um pré-processamento nos dados, para garantir o correto sentido de escoamento da malha hidrográfica e o adequado posicionamento das curvas de nível, em relação à calha da rede de drenagem.

Garantida a correção da hidrografia e das curvas de nível, utilizou-se a ferramenta TOPOGRID para realizar a interpolação. Segundo *Baena e Silva* (2004), o algoritmo do TOPOGRID propõe a incorporação da rede de drenagem digital real durante o processo de geração do MDE. Sempre que haja a violação das condições de altimetria favoráveis ao escoamento, o traçado da hidrografia mapeada é respeitado. Dessa forma, é garantida a coincidência espacial da drenagem mapeada com as células de menor altitude do modelo, configurando-se assim, a criação de um MDEHC.

Contudo, foi efetuado uma comparação entre os MDEs gerados, com intuito de se obter alguma significância entre os métodos de interpolação utilizado na geração dos MDEs. Para esta comparação utilizou-se o módulo *Spatial Analyst - Raster Calculator* subtraindo-se os Grids gerados, seja um gerado partir do ArcGIS e o outro grid de MDEHC gerado a partir do Topogrid.

Diante disso, foi feito então uma segunda comparação, agora utilizando o MDEHC (Figura 3 “Machadov f3.gif”) gerado no ArcGIS utilizando o TIN com um posterior processo de aprofundamento da calha ao longo da hidrografia mapeada, e o MDEHC gerado a partir do TOPOGRID. Procedendo a subtração utilizando o módulo *Spatial Analyst - Raster Calculator*

No processo de delimitação das áreas de preservação permanente (APPs), para gerar as áreas de APP ao longo dos rios (APPrios) utilizou-se como base no processo o *grid* que representa a hidrografia mapeada, através do comando *Create Buffer*. Com base neste processo, ao redor das nascentes (APPnasc), desta vez utilizando o grid contendo as nascentes.

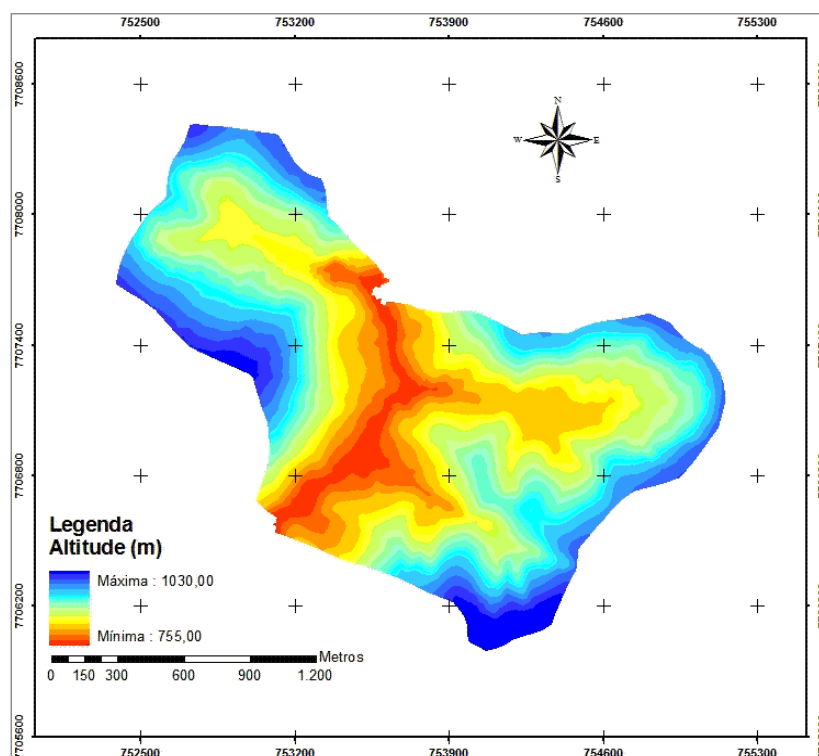


Figura 2 - Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente gerado no ArcGIS

Para obter as APPs da área de drenagem de cada nascente (APPreadre) é possível através do comando *WATERSHED* e as áreas de APP em locais com declividade $\geq$ a 45° (APPdecl) foram delimitadas com base na declividade das células do respectivo MDE através do comando *slope* do ArcGIS.

O mapa da Área de Preservação Permanente parcialmente até aqui (APPtotal) foi obtido através da superposição dos mapas *APPrios*, *APPnasc*, *APPreadre* e *APPdecl*, levando em consideração que as APP de topo de morro e linha de cumeada não foram determinados.

4 Resultados e Discussão

4.1 Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente

A Figura 2 representa as células do *GRID* do MDEHC gerado a partir da Rede Irregular de Triângulos (TIN). A maior altitude encontrada no local foi de 1.030,00 m e a mínima foi de 755,00 m. A Figura 3, onde a altitude máxima encontrada foi de 1.029,79 m e a mínima de 745,58 m, apresenta o aprofundamento do relevo ao longo da hidrografia mapeada.

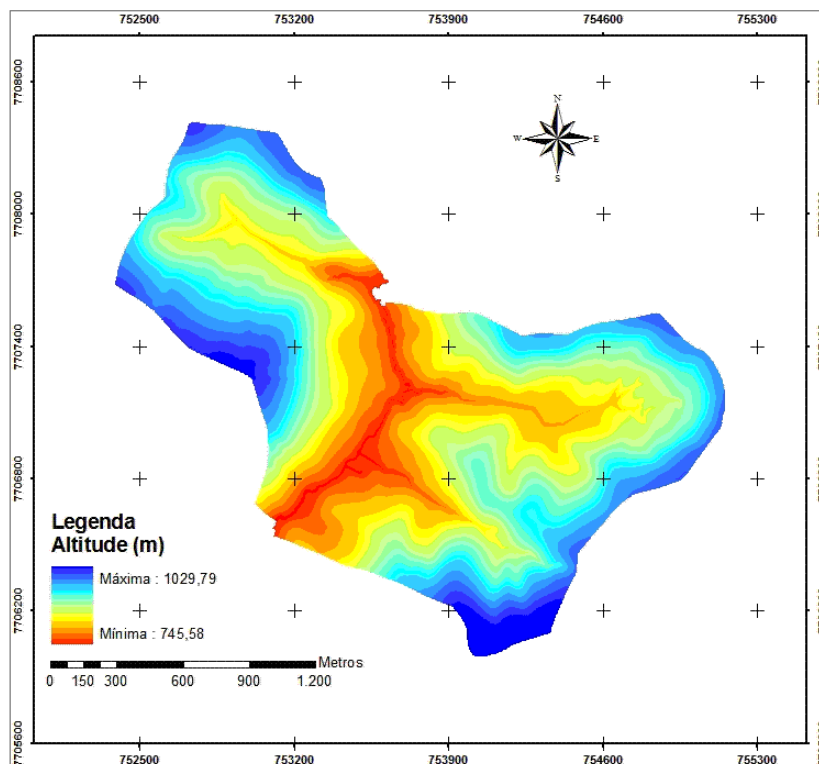


Figura 3 – Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente com aprofundamento da calha

A seguir obteve-se o *GRID* do MDEHC (Figura 4) gerado a partir do *TOPOGRID* ArcInfo, sendo a maior altitude encontrada no local de 1.030,97 m e a mínima de 759,08 m. Entretanto, é importante destacar que o modelo teve seus valores alterados (depressões preenchidas) apenas em localidades que não compreende calhas dos canais de drenagem, mantendo assim a consistência de fluxo de escoamento.

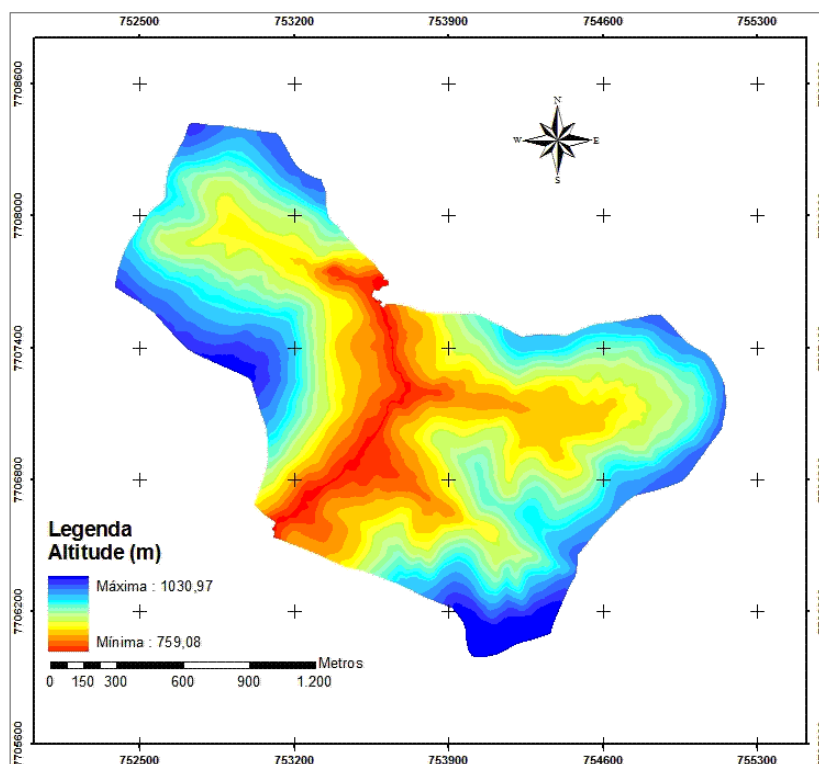


Figura 4 – Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente gerado com o Topogrid

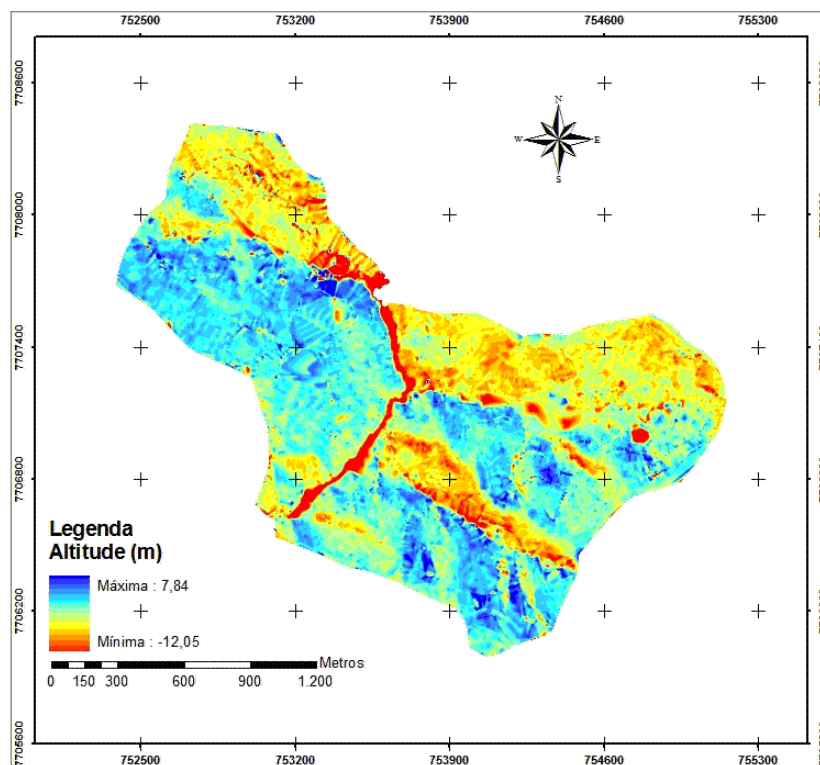


Figura 5 – Grid representativo da diferença entre os MDEHC

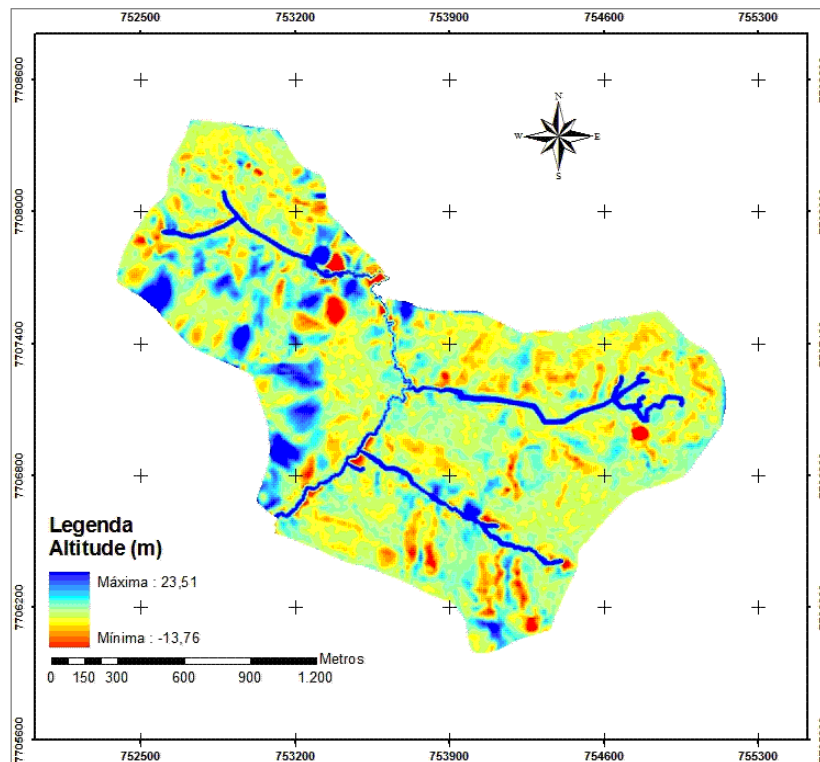


Figura 6 – Grid representativo da diferença entre os MDEs utilizando o MDEHC com aprofundamento da hidrografia

A Figura 5 apresenta a diferença ocorrida entre os MDEHC gerados por diferentes interpoladores (Figura 2) *TIN* - ArcGIS e (Figura 4) *TOPOGRID*, constatando uma diferença de aproximadamente de 7 metros nas partes sul e sudoeste da microbacia, e por volta de 12 metros na hidrografia mapeada uma vez que o *TIN* constrói grandes platôs em altos de morros, impossibilitando a formação da superfície real pelos interpoladores.

A Figura 6 demonstra a diferença entre os grid de MDEHC, agora utilizando o grid de MDEHC com aprofundamento da hidrografia mapeada gerado pelo ArcGIS (Figura 3) e o MDEHC gerado no *TOPOGRID* (Figura 4), destacando a calha do rio com 23 m de diferença, atribuindo esta diferença ao rebaixamento da calha do rio.

4.2 Áreas de Preservação Permanente

As áreas de preservação permanente foram delimitadas de forma individual, de modo que fossem superpostas após a identificação de todas elas. Com isso, as áreas de APP foram calculadas utilizando a tabela de atributos das classes de interesse com a criação de um campo (Área) e efetuando assim os cálculos em hectares (*ha*).

O grid APPrios (Figura 7) contém as áreas de preservação ao longo da hidrografia, gerado com base no *grid* que representa a hidrografia mapeada, através do comando *Create Buffer* do ArcINFO.

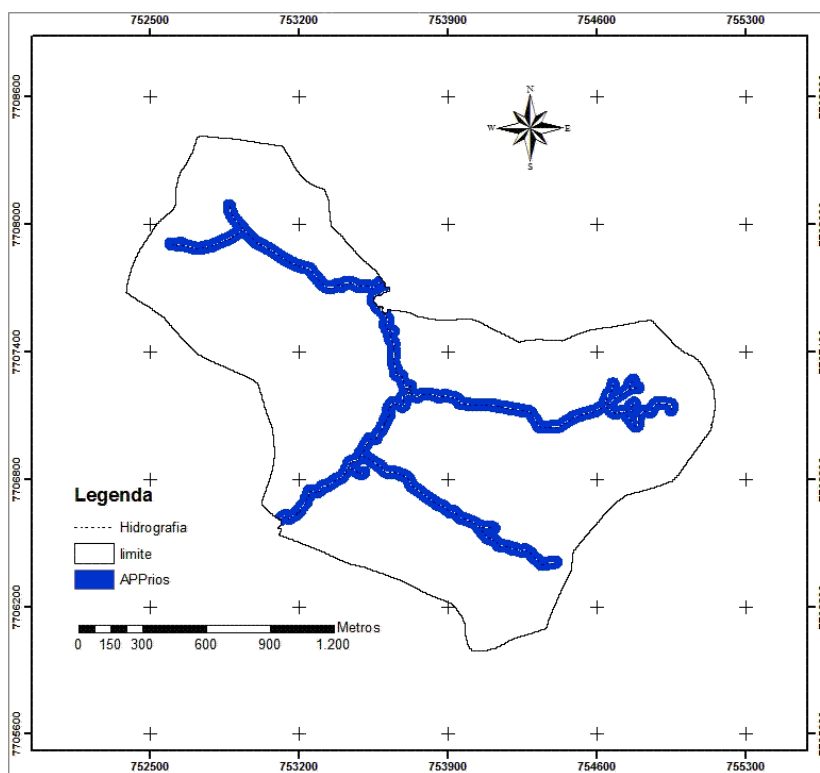


Figura 7 – Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água

As áreas de preservação de nascentes e área de drenagem de nascente, correspondentes aos *grids* APPnasc e APPreadre (Figura 8), foram calculadas separadamente, devido às suas características distintas. Em alguns locais nos dois GRIDS gerados, ocorreu uma super-estimação das áreas de preservação. Contudo, os dois grids foram sobrepostos e dele foi originado o cálculo das áreas. A área total para a APPnasc e APPreadre, descontando as áreas sobrepostas, foi de 18,6785 *ha*, correspondendo a 6,06 % da área total da microbacia.

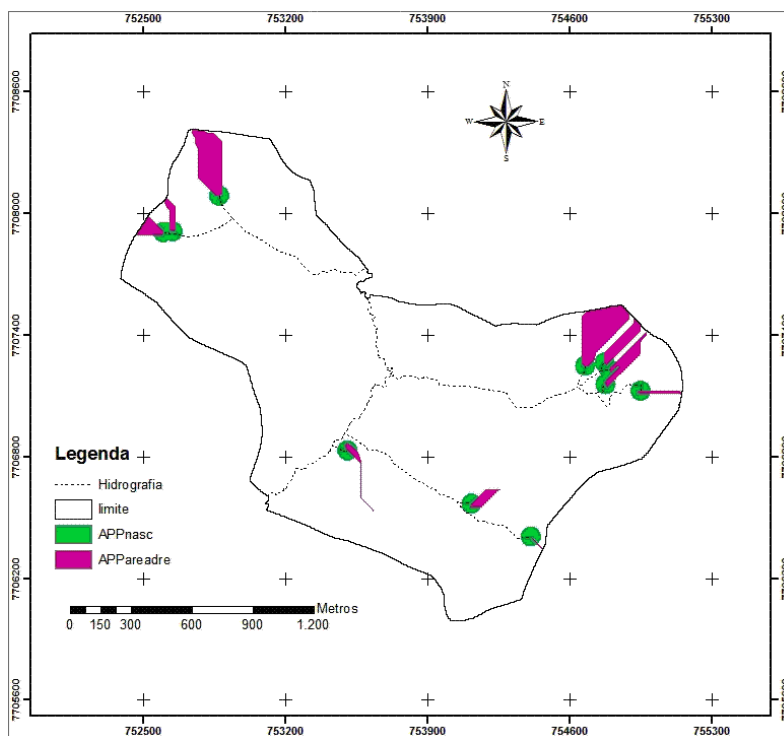


Figura 8 – Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes e em suas respectivas áreas de drenagem

A Área de Preservação Permanente correspondente à declividade igual e superior a 45° (APPdecl) foi de 0,8552 ha, o que representa cerca de 0,28 % da área total da microbacia.

O mapa da Área de Preservação Permanente (Figura 9) foi obtido através da superposição dos mapas de APPs encontradas.

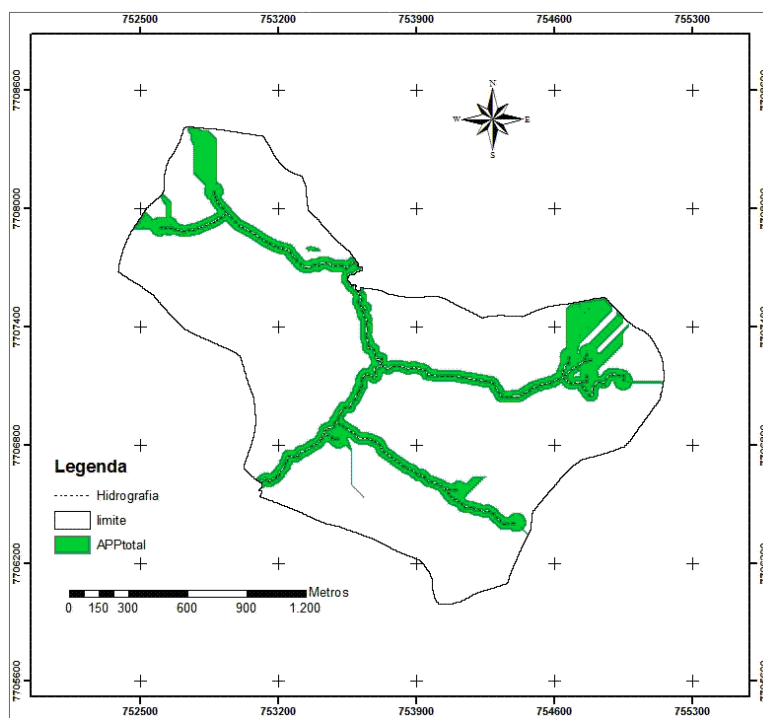


Figura 9 – Áreas de Preservação Permanente da Fazenda Braúna

Tabela 1 – Áreas de Preservação Permanente presente na Área da Microbacia.

Classes de APP's	Área da APP (ha)	Classes Sobrepostas (APP)	Área sobreposta (ha)	Área APP corrigida (ha)	APP em relação à área total (%)
APPrios	35,0466	2, 3	6,0192	29,0274	9,42
APPnasc	7,6740	-	-	7,6740	6,06
APPreadre	12,8956	2	1,8911	11,0045	
APPdecl	0,8552	-	-	0,8552	0,28
TOTAL	56,4714		7,9103	48,5611	15,76

5 Conclusão

O uso de técnicas de geoprocessamento normalmente torna mais eficiente o processo de geração do MDEHC, mas não garante que o MDE representará a realidade do espaço de forma precisa ao longo de toda bacia, pois de acordo com seu conceito, quando o escoamento superficial for todo direcionado para a respectiva foz, tornando os cálculos derivados do modelo menos subjetivos, diminui o erro atribuído às habilidades e experiências do analista (ArcInfo, 2001).

Foram observadas diferenças significativas em relação aos tipos de métodos empregados na geração dos MDEHC, considerando que os mapas (grids) gerados possuem a mesma base de dado, foi encontrando discrepância de até 21 metros entre os modelos empregados.

A melhor representação da diferença entre os MDEHC quantitativamente para a micro-bacia foi de 12 metros, levando em conta que foram gerados a partir de curvas de nível de 5 em 5 metros, fica claro que os métodos de interpolação empregado nesta metodologia apresentam discrepâncias, seja para delimitação de APPs ou para outras finalidades.

A tomada de decisão acerca do melhor MDEHC a ser empregado, destaque para o MDEHC gerado pelo TOPOGRID por ter a capacidade de modelar com maior rigor o relevo devido às modelagens em relação aos topos de morros.

A Área de Preservação Permanente total gerada na microbacia foi da ordem de 48,5611 ha, o que corresponde a 15,76 % da área total analisada, não levando em conta as áreas de morros e linha de cumeada.

6 Referências Bibliográficas

ArcInfo Versão 8.1.2 [Computer Software]. 2001. Esri, Inc, Redlands, CA.

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*. Viçosa: UFV, 2002. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

Baena, L. G. N., Silva, D. D. *Regionalização hidrológica - Determinação das características físicas*. Caderno Didático, Viçosa, MG: UFV, 2004.

ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. ArcInfo version 7.1.2 on-line documentation. Readlands, CA. 1997

Goodchild, M.F., *Spatial Autocorrelation*, Catmog 47, Geo Books, Norwich, 1986. Acessado em <http://www.geog.ucsb.edu/~good/>

HUTCHINSON, M. F. *A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models*. In: Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fé, NM. Proceedings: CD-ROM. 1996.

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, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.203-212, 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n2/a04v29n2.pdf>

TRIBE, A. *Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method*. Journal of Hydrology, v.139, p.263-293, 1992.