

**KELISON JUBINI MACHADO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA  
DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO  
PERMANENTE UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2010

**KELISON JUBINI MACHADO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA  
DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE ÁREAS DE  
PRESERVAÇÃO PERMANENTE UTILIZANDO SISTEMA DE  
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de novembro de 2010.

---

Prof. Joel Gripp Júnior  
(Coorientador)

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Coorientador)

---

Prof<sup>ª</sup>. Maria Lúcia Calijuri

---

Prof<sup>ª</sup>. Nilcilene das Graças Medeiros

---

Prof. Carlos Antônio Oliveira Vieira  
(Orientador)

*“OS QUE LUTAM*

*Há aqueles que lutam um dia; e por isso são bons;  
Há aqueles que lutam muitos dias; e por isso são muito bons;  
Há aqueles que lutam anos; e são melhores ainda;  
Porém há aqueles que lutam toda a vida; esses são os  
imprescindíveis.” (Bertold Brecht)*

*A Deus, aos meus pais José Apolinário e Eliete,  
à toda minha família,  
em especial a Assaida e Luis Fellipi,  
dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, pela minha vida.

Aos meus pais José Apolinário e Eliete pela base da minha vida me proporcionando esta realização, Amo vocês!

A minha família, em especial a Assaida e meu filho Luis Fellipi pela compreensão e carinho nas horas difíceis.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Professor Orientador Carlos Antônio Oliveira Vieira, pela orientação, amizade, paciência na realização do trabalho, aprendizado, incentivo, profissionalismo, além de tudo compreensão.

Aos Professores Joel Gripp e Elpídio Inácio, pelas contribuições acadêmicas, e pela utilização do software ArcGIS v 9.3.

Agradecer a Professora Luciene Stamato Delazari pelas contribuições e colaboração mesmo nas estando presente na banca, mais que foram de grande importância para conclusão deste trabalho.

A FAPEMIG pela bolsa de estudo.

Agradecer ao projeto Plano de Segurança da Água (PSA) e pela disponibilidade da base de dados, dentre outras contribuições.

A todos os professores da Engenharia de Agrimensura que me fizeram realizar um sonho, não só meu, mas de toda minha família.

Aos amigos do mestrado pelos momentos de estudo e amizade Sandro Farias, Leonardo Campos (Léo/doutorado), Carlos Crespo, Sebastião Jr. (Tião/doutorado), Julierme Wagner, Tatiane Vilela (Tati), Leandro Carvalho (Zé), Edneya, Antônio Prata (doutorado), Grazy, Leila, Inês, Afonso, Wellington e Leandro Poletto pela ajuda, incentivo e amizade.

A todos e aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho e torceram por mim na conquista de mais uma etapa, meus sinceros agradecimentos, muito Obrigado!

## **BIOGRAFIA**

Kelison Jubini Machado, filho de José Apolinário Machado e Eliete Jubini Machado pai de Luis Fellipi Machado, nasceu em Castelo – ES aos nove de abril de 1983.

Graduou-se em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa em Janeiro de 2008, após seis anos de curso.

Em março de 2008, ingressou na pós-graduação através do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Área de Concentração em Informações Espaciais, com Linha de Pesquisa em Geoprocessamento, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em novembro de 2010.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA .....	5
2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	7
2.3 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DO GEOPROCESSAMENTO .....	8
2.4 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS .....	14
3.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROGRAFICAMENTE CONDICIONADO.....	15
3.4 MODELAGEM DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	16
3.4.1 APP1 - Cursos d`água.....	17
3.4.2 APP2 – Ao redor das Nascentes .....	19
3.4.3 APP3 – Área de Contribuição das Nascentes .....	20
3.4.4 APP4 - Topos de Morro e Montanha.....	21
3.4.5 APP5 - Encostas com declividade superior a 100% .....	24
3.4.6 APP6 – Linha de Cumeada e Terço Superior dos Morros.....	25
3.5 MODELAGEM CONJUNTA DAS APPS NO AMBIENTE ARCGIS. ....	27
3.6 VALIDAÇÃO QUALITATIVA DOS RESULTADOS.....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu. ....	13
Figura 2: Visualização 3D da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu. ....	14
Figura 3: Edição dos dados da rede hidrográfica na tabela de atributo para o campo largura. ....	17
Figura 4: Determinação da planície de inundação ao longo da rede hidrográfica. ....	18
Figura 5: Determinação da APP ao redor das nascentes. ....	19
Figura 6: Esquema representativo da APP ao redor das nascentes. ....	19
Figura 7: Determinação da APP para a área de contribuição das nascentes. ....	20
Figura 8: Representação da APP para a área de contribuição das nascentes. ....	20
Figura 9: Processo de extração da direção de escoamento (Modelo D8). ....	21
Figura 10: Processo de reclassificação da direção de fluxo. ....	22
Figura 11: Determinação da Base e Topo dos Morros. ....	22
Figura 12: Determinação das Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morro. ....	23
Figura 13: a) Esquema mostrando as condições necessárias para classificar uma elevação como morro ( $h$ = altura; $d$ = declividade), b) Esquema mostrando as condições necessárias para classificar uma elevação como montanha ( $h$ = altura). ....	24
Figura 14: Determinação das Áreas de Preservação Permanente de Topo de Morro. ....	24
Figura 15: Determinação das Áreas de Preservação Permanente com declividade superior a 100% ou 45°. ....	25
Figura 16: Determinação da bacia de contribuição para cada célula da hidrografia. ....	26
Figura 17: Determinação do terço superior das Áreas de Preservação Permanente em Linha de Cumeada. ....	27
Figura 18: Representação das Áreas de Preservação Permanente em Linha de Cumeada. ....	27
Figura 19: Interface do Modelo para Determinação das Áreas de Preservação Permanente. ....	28
Figura 20: Fluxograma dos passos do processamento. ....	29
Figura 21: Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado. ....	31
Figura 22: Áreas de Preservação Permanentes localizadas longo dos cursos d'água na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	33
Figura 23: Áreas de Preservação Permanentes localizadas ao redor das nascentes na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	34
Figura 24: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nas áreas de contribuição das nascentes na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	35
Figura 25: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nos topos de morro na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	36
Figura 26: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nas área com declividade superior a 45° na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	37
Figura 27: Áreas de Preservação Permanentes localizadas no terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. ....	38
Figura 28: Porcentagens das Categorias de Áreas de Preservação Permanente. ....	39

Figura 29: Mapa Total das APPs delimitada para a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu..	40
Figura 30: a) Resultado das APPs encontrado por Moreira (2009) na microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, b) Resultado encontrado utilizando a metodologia deste trabalho.....	42
Figura 31: Topogrid Interpolation .....	52
Figura 32: Interface do <i>Topogridtools</i> . .....	53
Figura 33: Direção de escoamento das células do modelo .....	56
Figura 34: Ferramenta <i>Reclassify</i> com a inversão dos valores da direção de fluxo.....	56
Figura 35: Direção de escoamento reclassificada .....	57
Figura 36: Direção de escoamento reclassificada sem a hidrografia .....	57
Figura 37: Topo dos morros.....	57
Figura 38: Base dos morros.....	58
Figura 39: Altitudes máxima e mínima dos morros.....	58
Figura 40: Altura dos morros .....	58
Figura 41: Determinação dos Morros com altura entre 50,0 e 300,0 metros .....	59
Figura 42: Declividade da bacia em valores inteiros.....	59
Figura 43: Função <i>Zonal Statistics</i> . .....	59
Figura 44: Declividade majoritária de cada morro.....	60
Figura 45: Morros com declividade na encosta superior a 17° ou 30%. .....	60
Figura 46: Morros de declividade com valores.....	60
Figura 47: Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e montanhas. ....	61
Figura 48: Hidrografia contendo a altitude das células.....	61
Figura 49: Direção do fluxo.....	62
Figura 50: Bacia de contribuição para cada célula da hidrografia.....	62
Figura 51: Hidrografia segmentada. ....	62
Figura 52: Sub-bacias. ....	62
Figura 53: Linhas de cumeada contendo a altitude das células .....	63
Figura 54: Direção de escoamento sem a hidrografia. ....	63
Figura 55: Bacia de contribuição para cada célula da borda.....	63
Figura 56: Processo de identificação do terço superior das linhas de cumeada da bacia hidrográfica .....	64
Figura 57: Linhas de cumeada com altura maior que 50,0 metros.....	64
Figura 58: Áreas de Preservação Permanente em linhas de cumeada .....	65
Figura 59: Processamento das funções.....	65

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1: Largura das Áreas de Preservação Permanente ao longo da hidrografia.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 2: Áreas das APPs delimitadas para a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.....</b>	<b>32</b>

## RESUMO

MACHADO, Kelison Jubini, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro, 2010. **Desenvolvimento de uma metodologia para delimitação automática de áreas de preservação permanente utilizando sistema de informação geográfica.** Orientador: Carlos Antonio Oliveira Vieira, Coorientadores: Joel Gripp Júnior, Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Para proteger o meio ambiente das agressões humanas, foram criadas áreas de preservação permanente para delimitar áreas impróprias para o uso da terra, a fim de se manter ou preservar a cobertura vegetal original nestes locais. Embora a legislação ambiental brasileira seja considerada ampla, alguns fatores têm contribuído para torná-la pouco ágil. Dentre esses, destaca-se a deficiência em meios e materiais para apurar com vigor as agressões ao meio ambiente, ligadas principalmente às bacias hidrográficas. A funcionalidade e eficácia de procedimentos integrada às informações produzidas por tecnologias do geoprocessamento podem produzir diagnósticos e fornecer subsídios capazes de identificar e mensurar áreas de preservação permanente, fortalecendo as ações ambientais de monitoramento como suporte para os instrumentos jurídicos de controle e fiscalização desses ambientes. Dentre as vantagens de se adotarem processos automáticos, destacam-se a confiabilidade e a replicabilidade dos resultados, que podem então ser organizados e facilmente acessados sob a forma de bases de dados digitais. Desta forma, apesar de já existirem algumas metodologias capazes de realizar as delimitações das áreas de preservação permanente de forma automática, essas metodologias não se encontram disponíveis para a comunidade científica, ou por estarem em processo de patente, ou mesmo por serem proprietários, ou ainda por necessitar de pessoal altamente qualificado para executar uma série de rotinas complexas. Nesta pesquisa desenvolveu-se uma metodologia para delimitação automática de áreas de preservação permanente, com base nos condicionantes estabelecidos pela Resolução nº 303 do CONAMA, de domínio público, com interfaces amigáveis e rotinas mais intuitivas para o analista. As vantagens na automação em relação aos procedimentos manuais são o aumento da eficiência dos processos, a obtenção de resultados rápidos e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais com a comunidade científica. Assim, é oportuno mencionar que utilizou-se o *software* ArcGIS como base para implementação dos procedimentos metodológicos, aliado

aos dados de altimetria para geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado, além dos dados da hidrografia, correspondentes à área de estudo de 5.510 ha. Com esta metodologia adotando a tecnologia do geoprocessamento foram delimitados de forma automática 2.154,09 ha de APP cerca de (39,09 %) da área total de estudo, sendo as APPs de terço superior da bacia ao longo das linhas de cumeada a categoria com maior representação na área de estudo, somando aproximadamente (52,53 %), enquanto que as áreas com declividades superiores a 45° apresentaram a menor participação dentre as categorias mapeadas, apenas 0,04 % do total de APPs. Ao término desta pesquisa, obteve-se uma metodologia viável, que facilmente pode ser adaptada para novas situações e bacias, a qual não requer um longo treinamento de operação por parte dos usuários. A metodologia desenvolvida, além de utilizar uma plataforma simples, possibilita interface com outras bases de dados existentes e de domínio público e pode ser utilizada, de forma personalizada para atender às necessidades específicas de instituições públicas, como por exemplo, do Instituto Estadual de Florestas (IEF), em Minas Gerais, entre outras.

## **ABSTRACT**

MACHADO, Kelison Jubini, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2010. **Development of a methodology for automatic delimitation of permanent preservation areas using geographic information system.** Adviser: Carlos Antonio Oliveira Vieira, Co- advisers: Joel Gripp Júnior and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Aiming at protecting the environment in its natural form from the actions, permanent preservation areas were created in order to outline unsuitable areas for land use, in order to maintain or preserve the original vegetation found at these locations. Although the Brazilian environmental law is considered to be quite satisfactory, some issues have contributed to make it somewhat slow-moving. Among such issues one may mention the deficiency on the means and materials to energetically investigate the belligerence against the environment, especially the ones related to the river basins. The functionality and effectiveness of the procedures integrated with the information generated by geoprocessing technologies may yield diagnoses and provide subsidies able to identify identify and measure areas of permanent preservation, strengthening the environmental monitoring actions as a way to support the legal instruments for controlling and monitoring these environments. Among the advantages of adopting automated processes, we highlight the reliability and repeatability of results which can then be organized and easily accessed from the digital databases. Therefore, although there are some methods which are able to automatically outline the permanent preservation areas, such methodologies are not available to the scientific community, as they are under patent processes or even for already having owners, or for the necessity of highly qualified personnel to perform a series of complex procedures. In our study, we developed a methodology for automatic outlining permanent preservation areas based on the conditions established by Resolution 303 of CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente - National Council for the Environment, public domain, with friendly interfaces and more intuitive procedures for the analyst. The advantages of automation compared to manual procedures are the increased efficiency of the procedures, fast achievement of results, and the possibility of storing and sharing digital data with the scientific community. It is also worth mentioning that for carrying out this project, the ArcGIS software was used as the basis for implementing the methodological procedures. The software was coupled with the

altimetry data, for generating the Digital Elevation Model Watershed Conditioning, hydrographic data, and the map land use, regarding the area of study, which contains an area of 5510 ha. With this methodology adopting the geoprocessing technology, 2154.09 ha of APP were automatically outlined, around 39.09% of the area of study, being the the APP of the upper third of the basin along the ridge lines the category with the highest representation in the study area, totaling about 52.53% of protected areas. Conversely, the areas with slopes greater than the 45° had the lowest share among the categories surveyed, only 0.04% of total APPs. Upon completion of this research, a feasible methodology that can be easily adapted to new situations and basins, having a friendly interface, which does not require a long training operation by users, was achieved. Besides using a simple platform, this methodology will allow interface with other existing databases which will be into the public domain, being able to be customized to meet specific needs of public institutions such as the IEF (Instituto Estadual de Florestas - State Forestry Institute) of the State of Minas Gerais, among others.

## 1. INTRODUÇÃO

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são definidas na Lei 4.771 de 1965 (BRASIL, 1965), com a finalidade de evitar a degradação de ecossistemas, conservar o meio ambiente e manter a qualidade de vida. Na maioria das vezes, as APPs não são respeitadas quanto à sua declividade, topos de morros, margens de rios e nascentes dos mananciais, o que vêm provocando, em muitos casos, o uso inadequado dos recursos naturais. Nestas áreas não se pode fazer a retirada da cobertura vegetal original, afim de que possa exercer em plenitude suas funções ambientais (MOREIRA, 1999).

No Brasil, os dispositivos legais ligados à preservação ambiental surgiram de forma sistemática na década de 30. Foram criadas medidas de conservação e preservação do patrimônio natural, criação de parques nacionais e declaração de áreas como florestas protetoras nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste; além de estabelecimento de normas de proteção dos animais; promulgação dos Códigos Florestal, de Águas e de Minas (COELHO e BORGES, 1984).

Tendo em vista os compromissos assumidos pelo Brasil perante a Declaração do Rio de Janeiro de 1992 e a necessidade de se regulamentar a Lei 4.771/65, que entrou em vigor, dia 13 de maio de 2002, a Resolução nº 303, no Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Essa resolução estabelece parâmetros, definições e limites referentes às APPs e adota, ainda que implicitamente, a bacia hidrográfica como unidade de sua aplicação.

Embora a legislação ambiental brasileira seja considerada ampla, alguns fatores têm contribuído para torná-la pouco ágil. Dentre esses, destaca-se a deficiência em meios e materiais para apurar com vigor as agressões ao meio ambiente ligadas às bacias hidrográficas (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

Para proteger o meio ambiente na sua forma natural das agressões humanas, foram criadas áreas de preservação permanente no sentido de delimitar áreas impróprias para o uso da terra, a fim de se manter a cobertura vegetal original nestes locais (SILVA, 1996).

Para Moreira *et al.* (2003) a delimitação das áreas de preservação permanente, em ambiente computacional tem sido feita a partir do uso de aplicativos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como por exemplo, o *ArcINFO*, *IDRISI*, *SPRING*.

A identificação e delimitação territorial de áreas de APPs é um trabalho complexo, que envolve a interpretação e combinação de alguns dados ambientais. Observa-se hoje a rápida difusão das geotecnologias para o apoio à tomada de decisões, sobretudo em questões que apresentem o fator topos de morros e montanhas como base das discussões. A rapidez com que as alterações da paisagem têm acontecido exige a associação entre os esforços da legislação e técnicos no sentido de se reconhecer e caracterizar as áreas de valor ambiental.

Mas, segundo Hott *et al.* (2005) a utilização de tecnologias do geoprocessamento, poderiam contribuir na determinação automática dessas áreas de preservação permanente em topos de morros e montanhas, caso um procedimento metodológico fosse desenvolvido para tal objetivo.

Diante desse contexto, as metodologias possíveis de serem implementadas por meio de tecnologias do geoprocessamento, tornam-se alternativas viáveis para reduzir de maneira significativa as deficiências relativas ao cumprimento das leis pertencentes às Áreas de Proteção Ambiental (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

Para o monitoramento das áreas de preservação permanente existe um grande desafio, pois os critérios de delimitação com base na topografia exigem o envolvimento de pessoal especializado e de informações detalhadas da unidade espacial em análise. Entretanto, o desenvolvimento de aprimorados algoritmos e a sua incorporação ao conjunto de funções do SIG, tem proporcionado praticidade e agilidade no processamento de dados necessários para caracterização das variáveis morfométricas do terreno (OLIVEIRA, 2005).

A funcionalidade e eficácia de procedimentos, integrada as informações produzidas pelo geoprocessamento, pode produzir diagnósticos e fornecer subsídios capazes de identificar e mensurar áreas de preservação permanente, fortalecendo as ações ambientais de monitoramento e fiscalização, como suporte para o planejamento das ações do Poder Público.

Diante do exposto, a identificação e a delimitação de Áreas de Preservação Permanente empenham o aprimoramento das técnicas e sistemas empregados. O uso de geotecnologias, entre as quais os Sistemas de Informações Geográficas, com instrumentos consagrados de análise e modelagem do espaço geográfico, mostra-se bastante eficiente para a delimitação de APP's, pois possibilita um processamento rápido e eficiente dos dados necessários para as análises em bacias hidrográficas.

No presente trabalho, são apresentados procedimentos metodológicos apoiados por geoprocessamento e discutem-se os resultados obtidos em análises espaciais das APPs. Esta metodologia possibilita a delimitação automática de APPs, com base nos condicionantes estabelecidos pela Resolução nº 303 do CONAMA, com interfaces amigáveis e rotinas mais intuitivas podendo proporcionar maior eficiência dos processos para obtenção de resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais com a comunidade científica.

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia utilizando tecnologias do SIG que otimizam o uso de procedimentos automáticos para delimitação de áreas de preservação permanentes principalmente que sejam divulgados ao domínio público de forma que os resultados possam demonstrar a viabilidade de se fazer cumprir plenamente o Código Florestal Brasileiro.

Esta pesquisa dividida em cinco capítulos busca mostrar as metodologias num passo a passo para facilitar a compreensão das informações e dos dados apresentados. O segundo capítulo, trata dos estudos referentes a delimitação das APPs. No capítulo 3, relativo à metodologia, são apresentados os principais conceitos, alguns termos e definições da resolução do CONAMA relativas às APPs e geoprocessamento. Além disso, apresentam-se as ferramentas utilizadas no trabalho para delimitação das APPs. O capítulo 4 aborda o tratamento dos dados e resultados gerados na delimitação automática das APPs. Destaca-se que os estudos aqui apresentados restringe-se a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu no que pode ser observado por trabalhos de identificação de (cursos d'água, entorno das nascentes e sua contribuição, declividade, linha de cumeada e topos de morros e montanhas). O capítulo 5 apresenta as análises dos resultados e retrata quantitativamente as diferenças encontradas na variação de metodologia. O capítulo 6 trata das

considerações finais a respeito da metodologia desenvolvida e a busca por melhores resultados com sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que, toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída (VILLELA e MATTOS, 1975).

Um dos desafios da análise hidrológica é o delineamento e a caracterização da rede de drenagem das bacias hidrográficas.

Uma bacia hidrográfica evidencia a hierarquização dos rios, ou seja, a organização natural por ordem de menor volume para os mais caudalosos, que vai das partes mais altas para as mais baixas (BARROSO, 2006).

Ainda segundo Barroso (2006), a partir da definição da bacia hidrográfica como unidade espacial de trabalho, evidencia-se a redução e incertezas em torno das tomadas de decisões relacionadas às análises ambientais.

O problema relacionado às intervenções ambientais tem sido muito discutido, sobretudo quando se busca o aperfeiçoamento das políticas públicas voltadas para a recuperação e preservação das bacias hidrográficas, que envolvem atividades de regulamentação, planejamento e gestão (CALIJURI e BUBEL, 2006).

Diante desta preocupação, muitos aspectos devem ser abordados. Desde os elementos históricos presentes no processo de ocupação da bacia hidrográfica, os impactos econômicos, até as ferramentas que podem contribuir para prevenir tais impactos.

Para Nascimento (2005), as consequências das agressões ambientais sobre os recursos hídricos têm repercutido em grande escala na qualidade de vida das populações, afetando o equilíbrio ambiental das áreas drenadas pelas bacias hidrográficas. Apesar disso, à medida que a demanda para os seus diversos usos tem aumentado, as ações direcionadas a promover mudanças na forma predatória de sua utilização, continuam sendo implementadas de maneira consideravelmente tímida.

A delimitação automática da bacia hidrográfica a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) é obtida rapidamente, de forma menos subjetiva e oferece uma maior quantidade de informações que as técnicas manuais aplicadas aos mapas analógicos (TRIBE, 1992).

A bacia hidrográfica se configura atualmente como uma das principais unidades de gerenciamento territorial para diversas atividades, sendo modelada pelas condições geológicas e climáticas locais (HOTT et al., 2005). Nas aplicações hidrológicas em SIG, os dados de relevo são comumente representados por Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados (MDEHC). A rede hidrográfica topologicamente consistente, os traçados dos limites das bacias de contribuição de cada trecho de curso d'água e o relevo da área de estudo devem estar compatíveis entre si dentro da mesma escala de trabalho (TEIXEIRA et al., 2007).

Para tanto, este MDEHC fica condicionado ao processo de interpolação caracterizado pelo uso da malha hidrográfica para garantir o correto sentido de seu escoamento e o adequado posicionamento das curvas de nível em relação à calha da rede de drenagem.

Este modelo garante a conectividade de todos os arcos da hidrografia e a sua correta orientação no sentido do escoamento, imposta pelo preenchimento das depressões espúrias, que são depressões naturais decorrentes do processo de interpolação.

Contudo, estes MDEHC são utilizados em projetos para identificar a característica da rede de drenagem em relação aos morros e montanhas tais com: vales, padrões de drenagem de escoamento superficial e quantificar as propriedades da rede, como tamanho, comprimento e inclinação. A exatidão das informações topográficas depende tanto da qualidade como da resolução do MDE e do processamento de algoritmos utilizados para extrair essas informações.

## 2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

No tocante à conjuntura Brasileira, as discussões acerca da preservação e conservação da vegetação nativa, seja ela situada ao longo dos rios ou de cursos d'água, topos de morros e nascentes, tem ocupado lugar de destaque no âmbito das pesquisas que preconizam a importância da proteção dos recursos hídricos.

De acordo com o disposto no art. 2º do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771/65) prevê a “*proteção da cobertura vegetal das áreas de preservação permanente, com função ambiental de preservar a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, os recursos hídricos, proteger o solo além de assegurar o bem estar da população humana*” (BRASIL, 1965). A normalização deste artigo ocorreu em maio de 2002, quando entrou em vigor a Resolução nº 303 do CONAMA. Essa resolução estabelece parâmetros, definições e limites referentes às áreas de preservação permanente, como por exemplo:

- “ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal”.

- “morro – elevação de terreno com cota do topo em relação à base entre 50 m e 300 m e encostas com declividade superior a 30% na linha de maior declividade”.

- “montanha – elevação de terreno com cota do topo em relação à base superior a 300 m”.

- “base de morro ou montanha – plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor”.

- “linha de cumeada – linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas”.

Para a identificação de todas as nascentes da rede hidrográfica, utiliza-se demarcar um raio de 50 m em torno de cada uma delas. Mas, de acordo com a Resolução nº. 303 do CONAMA temos que acrescentar a sua área de contribuição conforme segue a resolução: (“*Constitui Área de Preservação Permanente a área*

*situada... ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte*”), além de delimitar a bacia de contribuição de cada nascente.

Mesmo assim, a preservação das APPs não tem sido respeitada, apesar de constituir crime a retirada da vegetação em sua área. A legislação atual não prevê a observância da degradação associada ao uso inadequado da terra, muitas vezes ocorrendo devido ao descaso com que os órgãos públicos têm tratado esta degradação, seja pela limitação operacional ou pela ausência de fiscalização e monitoramento (BARROSO, 2006).

Segundo Oliveira (2005) a dificuldade operacional para realizar o controle, por meio da demarcação oficial das APPs, está ligada principalmente a dois aspectos: primeiro, a complexidade do processo de demarcação das APPs que, pela abordagem tradicional manual, requer mapas altimétricos e de hidrografia detalhados (grandes escalas), o que esbarra na precariedade do mapeamento sistemático brasileiro. Segundo, a escassez tanto de profissionais experimentados no manuseio dessas informações quanto de pessoal para a fiscalização ambiental.

Para agilizar o processo de fiscalização ambiental muitos esforços acerca do mapeamento das áreas de APPs já foram desenvolvidos em microbacias (RIBEIRO *et al.*, 2002; MOREIRA *et al.*, 2003; SCHIMITH *et al.*, 2004), em menores escalas como o trabalho de HOTT *et al.* (2005) e ainda VICTORIA *et al.* (2008) que delimitou áreas de Preservação Permanente de topo de morros para todo o território brasileiro.

Sendo assim, muitos avanços nas áreas de Sistemas de Informação Geográficas e Sensoriamento Remoto possibilitam mensurar e delimitar de forma sistemática as APPs com agilidade, economia de tempo e mão de obra.

### **2.3 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DO GEOPROCESSAMENTO**

O Geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de técnicas destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, e abrange tecnologias

como o Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG), entre outras. O SIG utiliza a representação computacional da informação do espaço geográfico para armazenar, gerenciar, manipular dados espaciais, o qual pode ser diretamente usado no processo de tomada de decisão (GOODCHILD, 1986). Segundo Aronoff (1989), esta manipulação de dados por parte do SIG permitiu recuperar, representar e combinar diversos dados nas mais complexas tarefas seja em formatos de mapas, imagens de satélite ou até mesmo na modelagem de um SIG.

As funções do SIG possibilita um processamento dos dados matriciais, uma das ferramentas potencialmente disponível no *ArcGIS* é o *ModelBuilder*. Pois esta ferramenta fornece uma modelagem em estrutura gráfica. Os modelos são abstrações em forma de diagrama de fluxo que unem uma série de ferramentas e dados para criar procedimentos avançados e fluxos de trabalho. Nele é possível criar, editar e gerenciar modelos. Entre as vantagens associadas ao *ModelBuilder* está a automatização; registro e documentação da metodologia que integra dados geográficos, com funções de processamento (MACHADO *et al*, 2010).

A criação e organização de bases de dados georeferenciadas, aliada a modelagem subsidia a simulação de sistemas e problemas mais complexos. Neste sentido, a formulação de modelos com uso de SIG aumenta a rapidez e a eficiência na determinação automática das áreas de preservação permanente. Com isso, tem-se eficiência e facilidade na hora de identificar as áreas de conflito de terra nas áreas de APP usando SIG, abrindo-se espaço para uma nova era: a do monitoramento ambiental inteligente (RIBEIRO, 2005).

## **2.4 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.**

As Áreas de Preservação Permanente são uma proteção do meio ambiente. O conceito de APPs presente no Código Florestal surge do reconhecimento da importância da manutenção da vegetação de determinadas áreas, assegurando-lhe

perpetuidade e contribuindo notadamente para o bem-estar das populações. No

entanto, a imposição legal dessas áreas espacialmente complexas tem sido dificultada pela inabilidade de se determinarem seus limites físicos, com isso inviabiliza a efetiva fiscalização ambiental e estimula a desobediência às leis vigentes.

Nesse contexto, as metodologias passíveis de serem implementadas por meio do geoprocessamento torna-se alternativas viáveis para se reduzir, de maneira significativa, as deficiências relativas ao cumprimento da legislação.

Muitos trabalhos têm sido conduzidos, envolvendo a delimitação de bacias hidrográficas voltando-se para áreas de preservação permanente. Dentre eles cita-se o de Costa *et al.* (1996), que realizaram um estudo com o objetivo de delimitar e caracterizar áreas de preservação permanente de uma região localizada no município de Viçosa-MG. Estes autores identificaram quatro categorias de APPs e elaboraram o diagnóstico quantitativo do uso da terra para a área de estudo. Os resultados indicaram que 72,59% das áreas de preservação permanente encontravam-se sob uso indevido.

Ribeiro *et al.* (2002), delimitaram automaticamente áreas de preservação permanente em topos de morro e ao longo das linhas de cumeada da bacia do Córrego do Paraíso, situada no município de Viçosa-MG. A base de dados utilizada (curvas de nível com equidistância vertical de 10 m e rede hidrográfica) foi produzida por restituição manual de fotografias aéreas na escala de 1:10.000, posteriormente convertida para o formato digital. Os resultados indicaram que o terço superior das encostas, desconsiderando as definições de morro, montanha e linha de cumeada constantes da Resolução nº 303 do CONAMA, apontaram para aproximadamente 35% da área da bacia. Atendendo às especificações técnicas da legislação, as áreas de preservação permanente situadas ao longo das linhas de cumeada e, portanto, associadas ao terço superior das encostas reduziram-se para cerca de 26% da superfície da bacia.

Segundo Soares *et al.* (2002), que analisou a mesma microbacia de Ribeiro (2002), com a utilização de SIG e empregando a Resolução 303/2002 do CONAMA, encontrou um resultado mais expressivo, onde 58% da microbacia deveria ser ocupada com APP. A diferença entre a pesquisa atribui-se ao fato de considerar a área de contribuição das nascentes no cálculo das APP.

De acordo com Hott *et al.* (2005) a delimitação dessas áreas através de métodos analógicos, incluindo a interpretação visual, é subjetiva, eminentemente bidimensional, condicionada à experiência do analista sendo sempre passível de contestação. Com a utilização de técnicas de geoprocessamento na determinação automática das áreas de preservação permanente em topos de morros e montanhas no Estado de São Paulo, encontrou resultados em termos de APP representando cerca de 7,7% da área do estado. Observou um crescimento das áreas mapeadas com o aumento da escala ou da resolução do modelo digital, isto devido ao maior detalhamento do relevo apresentado pelo modelo na escala 1:50.000.

De acordo com Barroso (2006), que adotou a metodologia de Ribeiro (2002) na delimitação de áreas de APPs da Bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, região de Viçosa-MG, com a utilização de técnicas de geoprocessamento e um processo automático de delimitação, concluiu que 45,06% da área total da bacia seria destinada as áreas de APPs, produzindo de forma eficiente as informações sobre as dimensões e representação espacial.

Mas em contrapartida Oliveira *et al.* (2007), com o uso de cartas topográficas na escala de 1:50.000, com curvas de nível com equidistância vertical de 20m e a rede de drenagem (CATELANI e BATISTA, 2007) encontraram resultados para o município de Santo Antônio do Pinhal – SP num total de 7.218 ha de áreas de preservação permanente (APPs) o que equivale a 52,3% da área do município; destacando que a determinação de APPs referentes aos topos de morros, montes e montanhas requerem grande esforço interpretativo do analista e, portanto, recomenda-se precaução no uso dos resultados referentes a essa classe.

Os trabalhos têm sido conduzidos envolvendo a delimitação de bacias hidrográficas e de suas APPs. A maioria dos Sistemas de Informações Geográficas hoje disponíveis no mercado apresenta ferramentas de manipulação de dados

matriciais que possibilitam executar automaticamente essas tarefas com rapidez e confiabilidade (SERIGATTO, 2006).

Os resultados do estudo conduzido por Ribeiro *et al.* (2005), foram de grande importância no que tange a viabilidade técnica de se fazer cumprir o Código Florestal Brasileiro, aprimorando a delimitação de APPs. O estudo foi conduzido em uma microbacia com área de 212 ha localizada no município de Viçosa, Estado de Minas Gerais. Para esta microbacia foram identificadas cinco categorias de APPs: entorno das nascentes (70 ha), terço superior das encostas (55 ha), matas ciliares (30 ha), áreas com declive (2 ha) e topos de morros (0,28 ha). As APPs ocuparam cerca de 58 % da área total dessa microbacia e concentraram-se principalmente no entorno das nascentes (33%) e no terço superior das encostas (26%).

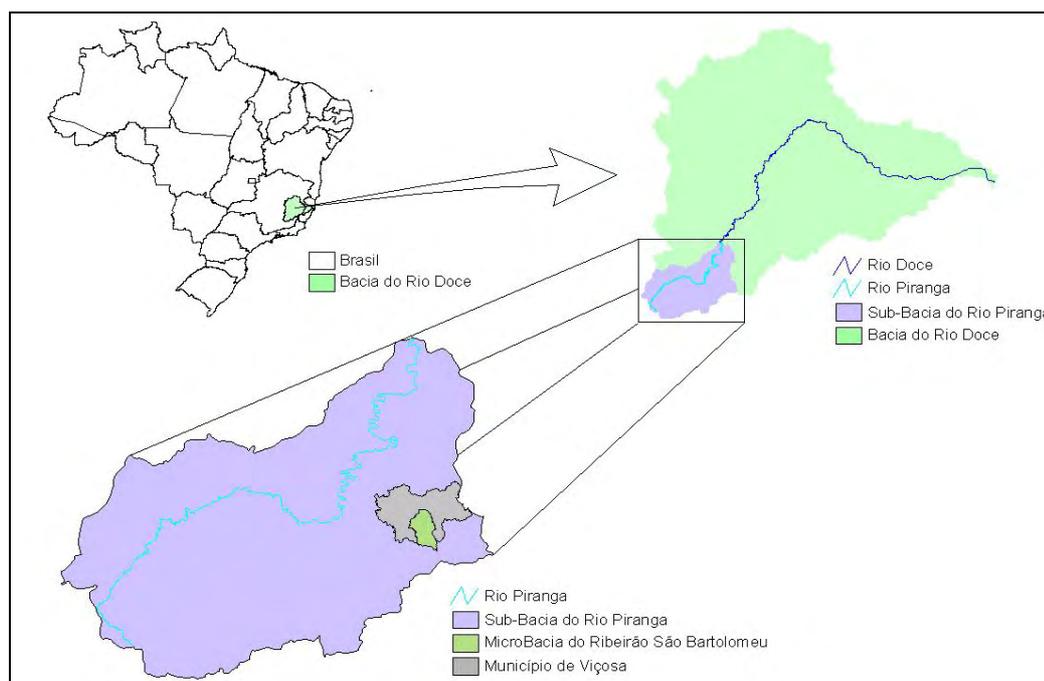
Mais recentemente Moreira (2009), a partir das definições do Código Florestal e das Resoluções 303 do CONAMA e com a metodologia de Ribeiro *et al.* (2005), delimitou de forma automática as áreas de preservação permanente para a parte rural da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, identificou e quantificou as categorias de APPs que corresponderam às encostas com declividades superiores a 45° (APP-2) com 5,51 ha (0,36%), o terço superior das sub-bacias (APP-5), com 1.037,32 ha (67,77%), e ainda apresentou as delimitações das categorias nascentes e suas áreas de contribuição (APP-3), com 436,06 ha (28,49%) e zonas repárias (APP-4), com 325,96 ha (21,30%). No tocante da delimitação, mostrou que as APPs ocuparam uma área de 1.530,67 ha, de um total de 2.826,83 ha da área de estudo, representando 54,15% de áreas legalmente protegidas.

Diante deste contexto, torna-se de grande importância esta modelagem para que práticas de mapeamentos de APPs se tornem cotidianas junto aos órgãos competentes de acordo com a metodologia utilizada, para que os procedimentos automáticos de delineamento das áreas de preservação atinjam o Brasil como um todo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

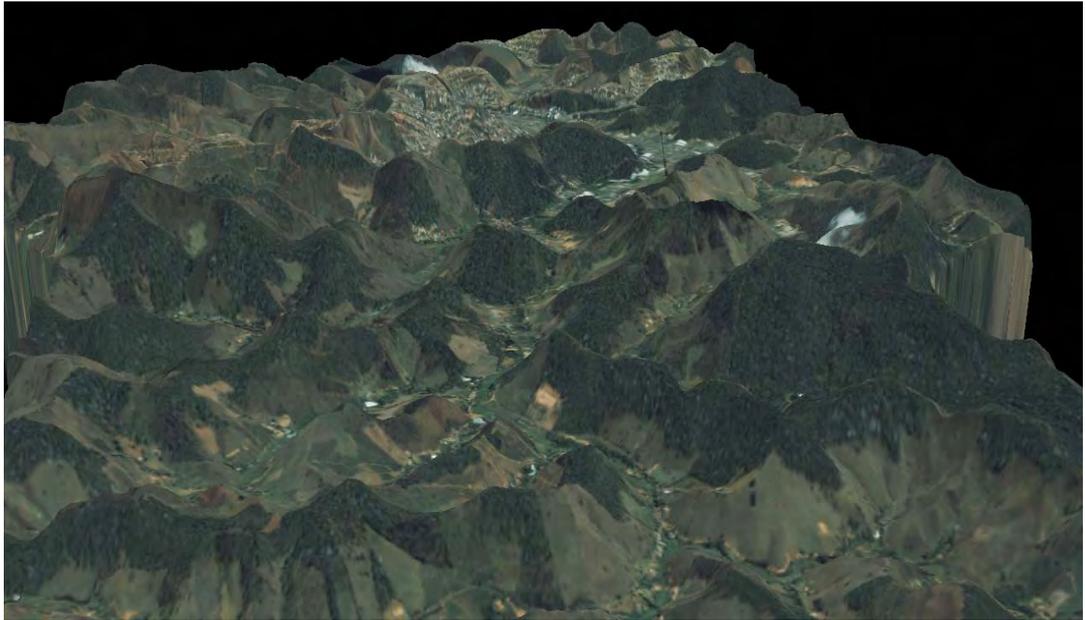
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada foi a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu (SB) (Figura 1), que se encontra inserida dentro da Bacia do Rio Doce.



**Figura 1: Localização da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.**  
(Fonte: MACHADO *et al*, 2010)

A microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu possui uma área de 5.510 ha e está localizada na Zona da Mata mineira, mais precisamente no município de Viçosa, entre os paralelos 20°44' e 20°50' latitude sul e entre os meridianos 42°51' e 42°53' longitude oeste de Greenwich (Figura 1), e faz parte do contexto da bacia hidrográfica do Rio Doce. Trata-se de um manancial de reduzida vazão, desprotegido, com pressões de ocupação urbana e de atividades agropecuárias relativamente intensas na bacia, para melhor visualização fez-se uma sobreposição da imagem sobre o MDE e um extrapolação da variável vertical, obtendo assim uma imagem 3D da área de estudo, conforme pode ser visto na (Figura 2).



**Figura 2: Visualização 3D da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.**

A região é caracterizada por uma topografia relativamente acidentada e intercalada por áreas planas.

### **3.2 MATERIAIS UTILIZADOS**

Para a realização do trabalho utilizou-se o bases de dados adquirido dentro do projeto piloto do Plano de Segurança das Águas (PSA) da UFV, entre elas: curvas de nível, com equidistância vertical de 5 m usados na geração do respectivo MDEHC.

De modo a garantir que os divisores de água da microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu estivessem corretamente representados no MDEHC a ser criado, definiu-se a extrapolação das curvas de nível ao longo do limite da microbacia, para que suas margens em torno da malha hidrográfica vetorial ficasse bem representada, para isto utilizou-se a base cartográfica planialtimétrica em formato digital na escala de 1:50.000 do IBGE.

As rotinas específicas foram desenvolvidas com o *ModelBuilder* (APÊNDICE B), disponibilizado junto ao *ArcToolbox*, do ArcMap 9.3 (©*Environmental Systems Research Institute*).

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROGRAFICAMENTE CONDICIONADO

No desenvolvimento da metodologia, foram abordados os termos constantes na Resolução do CONAMA N° 303 de 20 de março de 2002 (CONAMA, 2002), através da aplicação de técnicas envolvendo Sistemas de Informações Geográficas e modelagem digital de elevação hidrograficamente condicionado por levar em consideração a hidrografia no processo de geração.

A partir das curvas de nível utilizou-se o *software* ArcGIS para transformar essas feições para *coverage*, através da ferramenta *Conversion Tools*.

Em seguida, a fim de se gerar o MDEHC foi utilizado o comando *Grid Tools* do *software ArcInfo* (ESRI, 1997), e na opção *surface analysis* foi escolhido o método de interpolação *Topogrid Interpolation*, que exigiu como parâmetros: o nome do modelo digital do terreno a ser gerado, MDEHC, a resolução geométrica (no caso, 5 metros), um conjunto de dados de altitude (as curvas de nível em formato *coverage*) e o limite da bacia (em formato *coverage*). O algoritmo produz um MDE que contém propriedades das drenagens e os dados de direção de fluxo, com aplicação do algoritmo desenvolvido por HUTCHINSON em 1989

O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, como também a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações utilizando uma técnica de interpolação por diferenças finitas (HUTCHINSON, 1989), estes procedimentos foram executados conforme Apêndice A.

A partir da geração do MDEHC, realizou-se a determinação das características físicas, dentre elas a área de drenagem, por meio do comando *Watershed* do módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS, que requer como dados de entrada a grade de direções de escoamento e o ponto associado à foz da bacia. O limite da bacia, assim obtido, foi então usado para recortar os dados originais, e em seguida foi realizado o mapeamento da rede hidrográfica e a determinação das características físicas da bacia hidrográfica por meio da utilização de SIG.

Os SIG possibilitam uma obtenção rápida e concisa de parâmetros fisiográficos, como a declividade, comprimento do curso d'água principal, fluxo acumulado, dentre outros. Os principais SIG, comercialmente disponíveis, contam com recursos avançados, para elaboração de mapas e modelos que possuam caráter dinâmico perante os desafios estabelecidos para determinação das características físicas, uma vez que o MDEHC viabiliza a determinação automática de vários variáveis.

### **3.4 MODELAGEM DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**

A modelagem foi feita utilizando o *software* ArcGIS para desenvolvimento das rotinas específicas, pois este *software* disponibiliza aos usuários um ambiente para a materialização de métodos de processamento de dados geográficos, denominado *ModelBuilder*. Esse ambiente propicia que sejam organizados procedimentos para a produção de informações geográficas, através de modelagem em estrutura de programação gráfico-visual.

A determinação das APPs se baseou nos seguintes parâmetros:

1. Faixa marginal ao longo dos cursos d'água (APP1),
2. Entorno das nascentes (APP2),
3. Áreas de contribuição das nascentes (APP3),
4. Topos de morros e montanha (APP4),
5. Encostas com declividades superiores a 100% (APP5)
6. Terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada (APP6),

Desde já, deve-se salientar que não foram determinadas as APPs em altitude superior a mil e oitocentos metros pelo fato da área de estudo não compreender locais com essas características.

Desta forma, feitas as considerações sobre as APPs, passou-se então a modelagem da metodologia pelas seguintes categorias. Alguns procedimentos estão demonstrados operacionalmente no Apêndice B.

### 3.4.1 APP1 - Cursos d'água

Tipos de APPs e suas respectivas formas de delimitação:

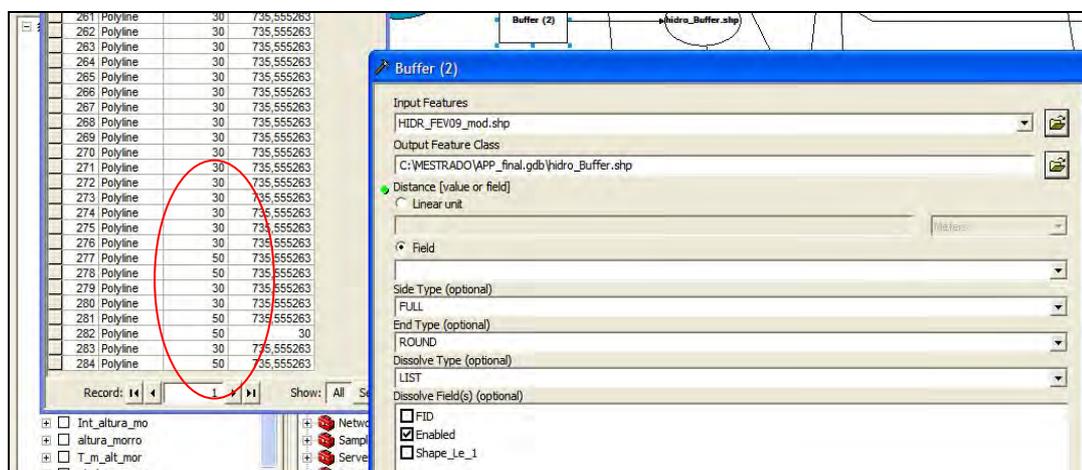
*“... ao longo dos rios ou qualquer curso d'água, desde o seu nível mais alto, cuja largura mínima, em cada margem, seja de, 30 m para cursos d'água com menos de 10 m de largura ...”* (CONAMA, 2002).

A delimitação das APPs ao longo dos cursos d'água (APP1) foi feita utilizando o comando *buffer*, criando-se margens variáveis conforme a Tabela 1.

**Tabela 1: Largura das Áreas de Preservação Permanente ao longo da hidrografia.**

Largura de inundação do curso d'água (m)	Largura mínima da faixa de proteção (m)
< 10	30
10...50	50
50...200	100
200...600	200
> 600	500

Para este procedimento de variação, necessitou-se da edição dos dados da hidrografia, ou seja, inseriram-se as larguras da faixa de proteção através do campo “Largura” criada na tabela de atributo da rede hidrográfica Figura 3, sendo assim foram fixadas as larguras ao longo dos cursos d'água na hidrografia da área de estudo.

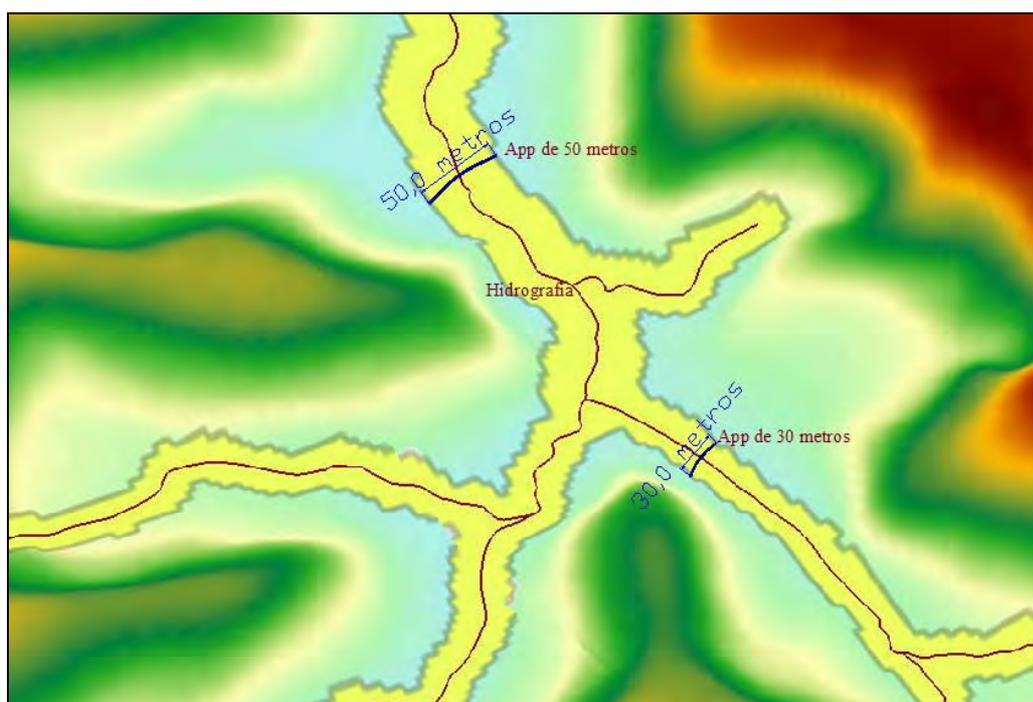


**Figura 3: Edição dos dados da rede hidrográfica na tabela de atributo para o campo largura.**

Para tal edição, foram feitas visitas a campo, pretendendo assim configurar a melhor representação da rede hidrográfica quanto a sua largura, com a identificação em campo e posteriormente sua localização em ambiente computacional para informar os dados de edição.

Desta forma, rede hidrográfica foi utilizada como entrada no processo de geração da APP, com a utilização do comando *buffer* foi possível mapear as áreas de inundação da hidrografia.

Delimitou-se então de forma automática no processo, a variação da largura do curso d'água na planície de inundação para toda a área de estudo, este processo pode ser aplicado a qualquer planície de inundação independentemente do processo utilizado para a sua delimitação, conforme pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4: Determinação da planície de inundação ao longo da rede hidrográfica.**

### 3.4.2 APP2 – Ao redor das Nascentes

“... nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m e sua respectiva área de drenagem ...” (CONAMA, 2002).

A delimitação das APPs de nascentes foi feita utilizando o comando *buffer*, com a criação de margens fixas de 50 metros ao redor das nascentes (APP2). Foi utilizado os pontos de nascentes, ou seja, um mapa contendo as nascentes para a execução do processo e posteriormente a determinação da APP como mostrado na Figura 5.



Figura 5: Determinação da APP ao redor das nascentes.

Após a delimitação da APP, o mapa contendo esta APP é convertido em *grid* para a representação do mapa final das APPs, de acordo com a Figura 6.

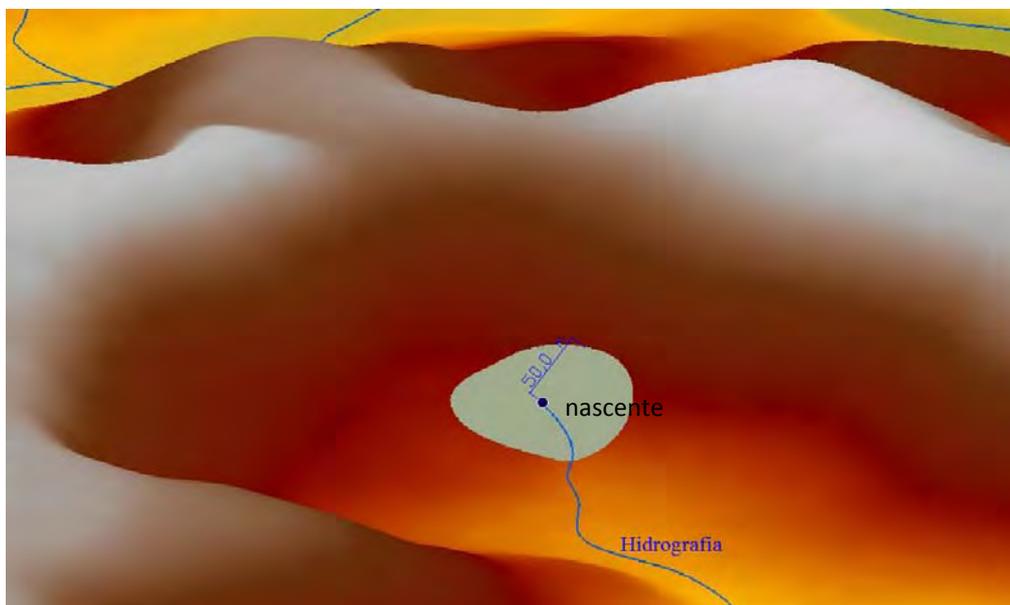


Figura 6: Esquema representativo da APP ao redor das nascentes.

### 3.4.3 APP3 – Área de Contribuição das Nascentes

Para obter as APPs da área de drenagem de cada nascente (**APP3**), calculou-se o *grid* com base na Figura (7). A bacia hidrográfica é subdividida em uma área a qual o fluxo contribui para um determinado local. Essa área é determinada com a função *Watershed*, que identifica a área de contribuição à montante de uma dada célula (ou células), neste caso as nascentes. Esta determinação depende da direção do escoamento de cada célula utilizando a função (*Flow Direction*) e das nascentes que representa as células da qual a área de contribuição é definida.

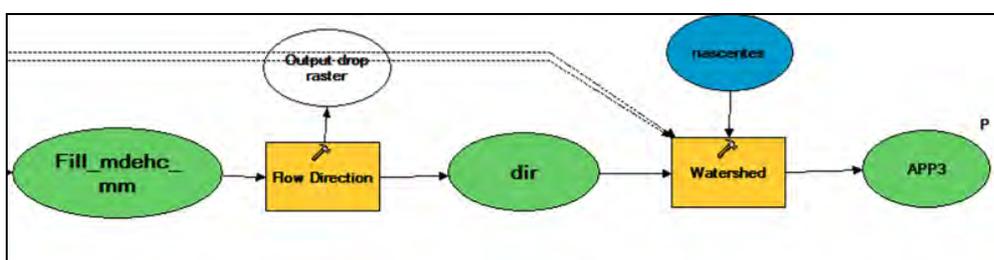


Figura 7: Determinação da APP para a área de contribuição das nascentes.

Com isso, encontra-se a direção de escoamento (*dir*), e posteriormente é realizado delimitação da APP para a área de contribuição de cada segmento ou nascente (Figura 8).

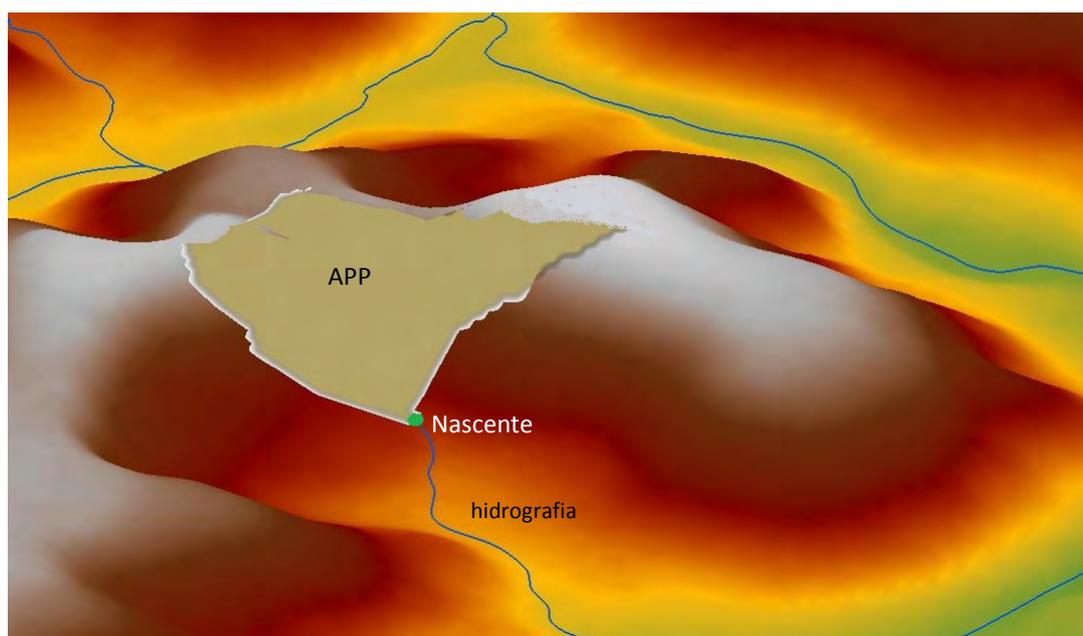


Figura 8: Representação da APP para a área de contribuição das nascentes.

### 3.4.4 APP4 - Topos de Morro e Montanha

“... no topo de morros, montes e montanhas, em áreas delimitadas, a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura mínima da elevação, em relação à base ...” (CONAMA, 2002).

Para delimitação desta categoria de APP, procedeu-se à inversão do relevo, com a eliminação das células da hidrografia para garantir que as depressões situadas sobre estas não fossem identificadas. Para tanto, uma das chaves para derivar características hidrológicas sobre uma superfície é a capacidade de determinar a direção do fluxo de cada célula no formato matricial (*raster*). Isto é feito com a função de direção de fluxo inserida no modelo. O escoamento será dado na direção do maior declive, e recebe um dos possíveis valores conforme apresentado na Figura 9.

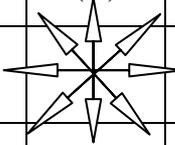
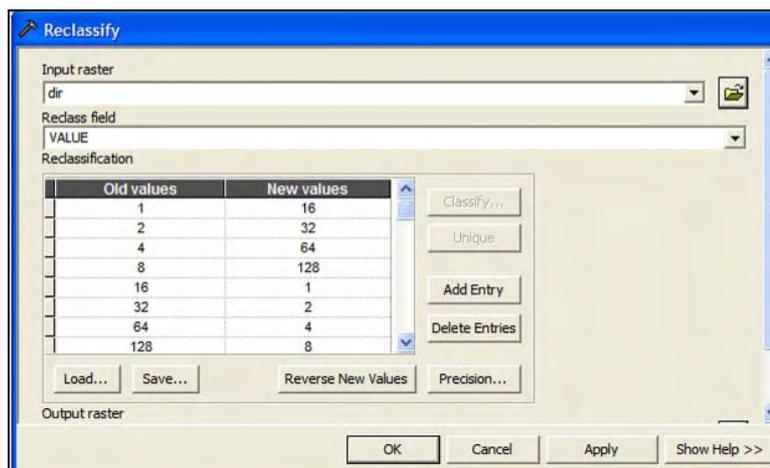
32 (NO)	64 (N)	128 (NE)
16 (O)		1 (E)
8 (SO)	4 (S)	2 (SE)

Figura 9: Processo de extração da direção de escoamento (Modelo D8<sup>1</sup>).

Esta direção de fluxo foi reclassificada com o uso da função *Reclassify*, que reclassifica os valores de uma camada, em novos valores, o que resulta em um mapa com valores invertidos de direção. A Figura 10 apresenta a interface para este procedimento.

---

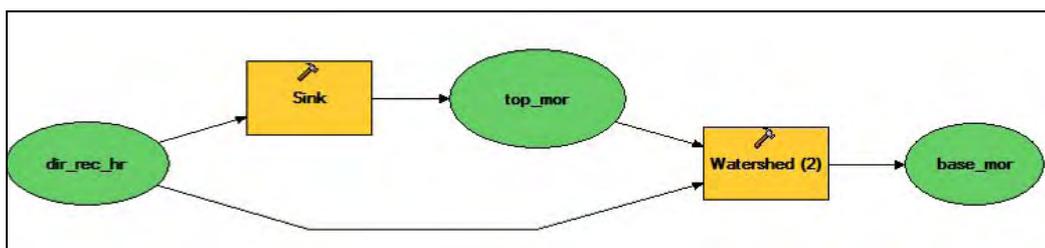
<sup>1</sup> Metodologia chamada de D8 (*Deterministic – 8 Node*). O método define a rede de drenagem a partir de um MDE na forma matricial (*raster*) por meio da relação com o fluxo da água sobre a superfície terrestre (MDE).



**Figura 10: Processo de reclassificação da direção de fluxo.**

Posteriormente, com a direção do escoamento reclassificada é realizada a retirada da hidrografia, para que as depressões sobre as mesmas não sejam identificadas. Isso é feito com a função *Set Null* que retorna valores *NoData* se a condição de cálculo é verdadeira e retorna valores específicos para outra *raster* se a condição é falsa. Esta nova camada representa os resultados verdadeiro e falso da condição de direção de fluxo reclassificada para o caso da condição ser falsa, ou seja, a nova direção de fluxo não terá valores onde houver hidrografia.

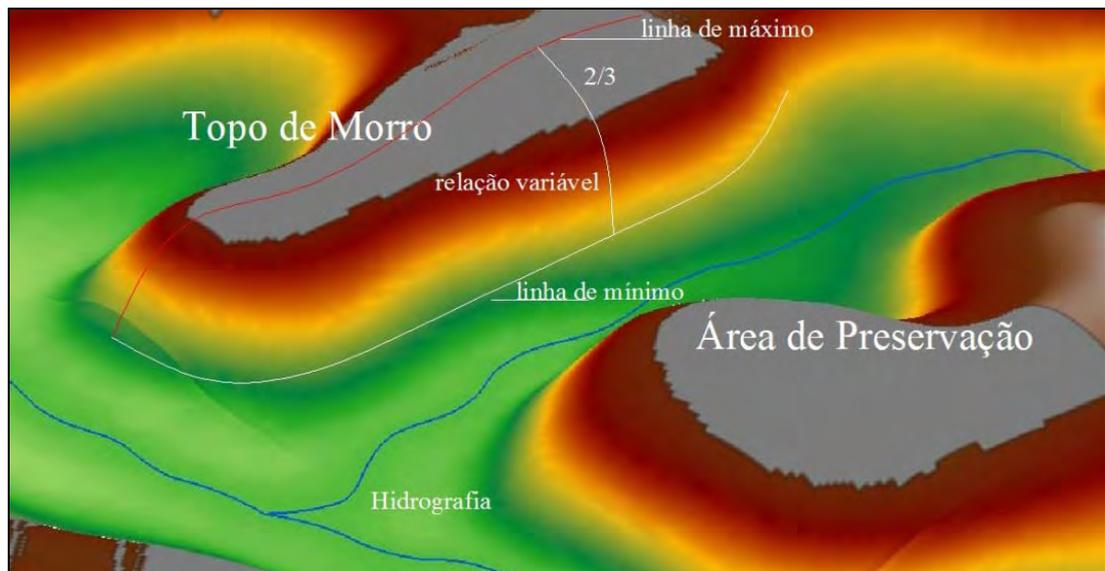
Assim os morros passam a ser identificados como depressões, considerando a direção de fluxo invertida, contudo, as bases dos morros passam a ser identificados como sendo a área de contribuição drenada por uma depressão (Figura 11).



**Figura 11: Determinação da Base e Topo dos Morros.**

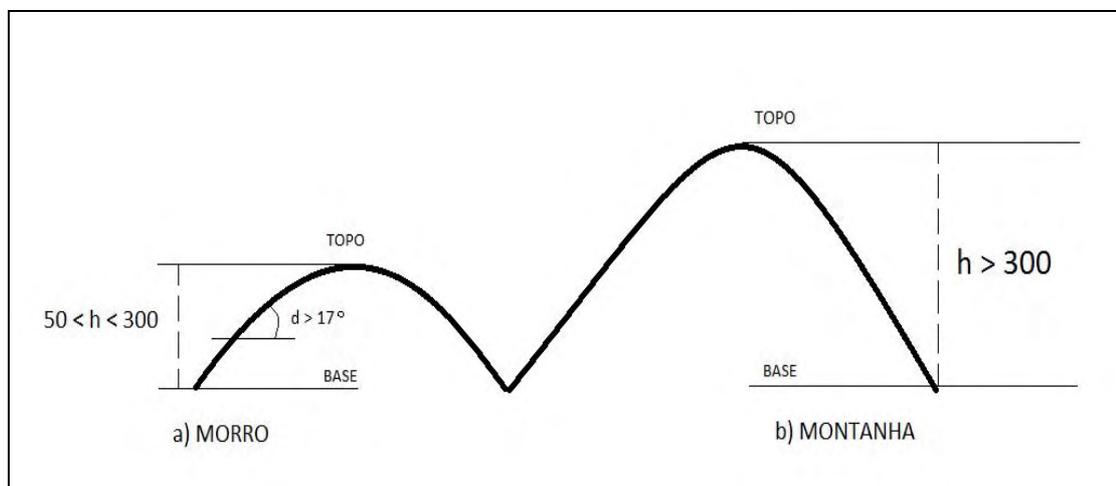
Após a inversão do MDEHC, as depressões foram identificadas como os topos dos morros e montanhas e o perímetro da bacia de contribuição drenada por uma depressão como a base da elevação. Assim, foram identificados os valores de altitude das células do MDHEC, que equivalem à base (Mínimo) e ao topo da elevação (Máximo), foi então possível determinar a altura de cada morro.

Uma vez determinadas as bases, encontram-se as altitudes máxima e mínima dos morros utilizando uma função estatística máxima e mínima, que determina a altura do morro considerando a diferença entre estes dois elementos. Desta forma é realizado o mapeamento ao longo dos morros, como pode ser visto na Figura 12.



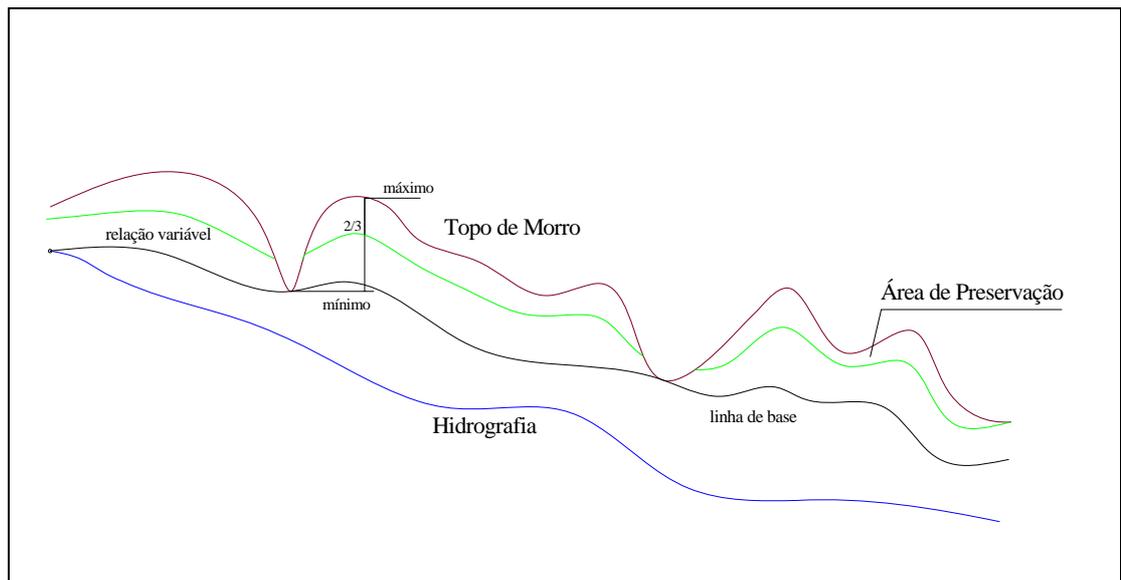
**Figura 12: Determinação das Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morro.**

Com isso, a delimitação das APP's no terço superior dos morros foi determinada a partir da identificação da base e do topo de cada elevação, respeitados os limites de declividade mínima de 30% ou  $17^\circ$  para suas encostas quando suas alturas estiverem entre 50 m e 300 m (Figura 13.), juntando os topos que se situem a uma distância de até 500 m.



**Figura 13: a) Esquema mostrando as condições necessárias para classificar uma elevação como morro (h = altura; d = declividade), b) Esquema mostrando as condições necessárias para classificar uma elevação como montanha (h = altura).**

Para cada célula do morro foi calculado a relação entre a sua altura e a altura do topo do morro em relação à base. Desta forma foram identificadas todas as células cuja relação foi igual ou superior a  $2/3$ , o que corresponde às áreas de APPs, conforme mostrado na Figura 14.



**Figura 14: Determinação das Áreas de Preservação Permanente de Topo de Morro.**

### 3.4.5 APP5 - Encostas com declividade superior a 100%

*“... nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 100% ou 45°, na sua linha de maior declive ...”* (CONAMA, 2002).

As áreas de preservação permanente em locais com 100% de declividade (APP5) foram delimitadas com base no *grid* de declividades, a Figura (15) demonstra o processo de delimitação da área, uma vez que o mapa contendo a declividade com valores inteiros em graus (*decl\_bac\_int*) determina-se as APPs para as encostas superiores a 45°.

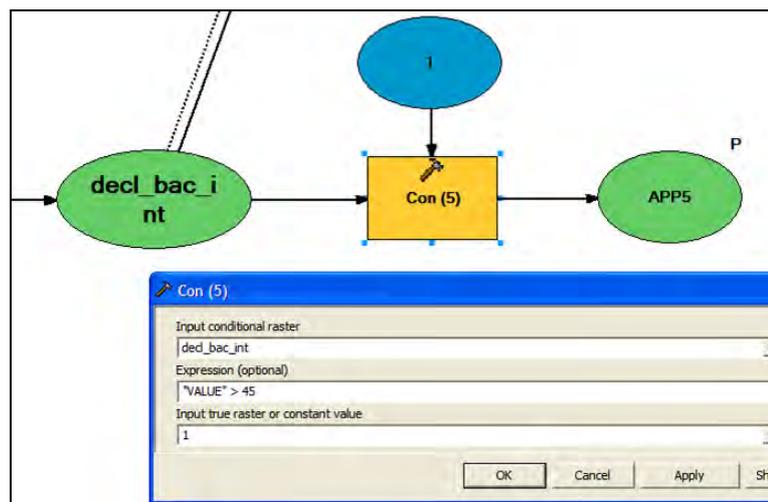


Figura 15: Determinação das Áreas de Preservação Permanente com declividade superior a 100% ou 45°.

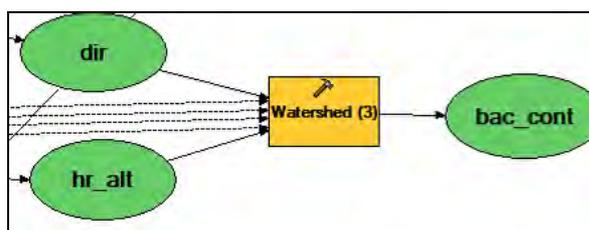
### 3.4.6 APP6 – Linha de Cumeada e Terço Superior dos Morros

*“... nas linhas de cumeadas, 1/3 superior, em relação à sua base, nos seus montes, morros ou montanhas, fração essa que pode ser alterada para maior, mediante critérios técnicos do órgão competente, quando as condições ambientais assim o exigirem ...”* (CONAMA, 2002).

Para obtenção da linha de cumeada (APP6), foi necessária a geração de *grids* intermediários até a delimitação das áreas de APP.

As linhas de cumeada são representadas pela linha que une os pontos mais altos de uma sequência de morros, constituindo-se no divisor de águas. A determinação das APP's nas linhas de cumeadas tem por base a bacia contribuinte de cada segmento da hidrografia.

Para a determinação de cada segmento, encontra-se a bacia de contribuição para cada célula da hidrografia (Figura 16), determinada utilizando a função *Watershed*, com base na direção do escoamento (*dir*), drenada por cada segmento de hidrografia contendo os valores de altitude (*hr\_alt*).



**Figura 16: Determinação da bacia de contribuição para cada célula da hidrografia.**

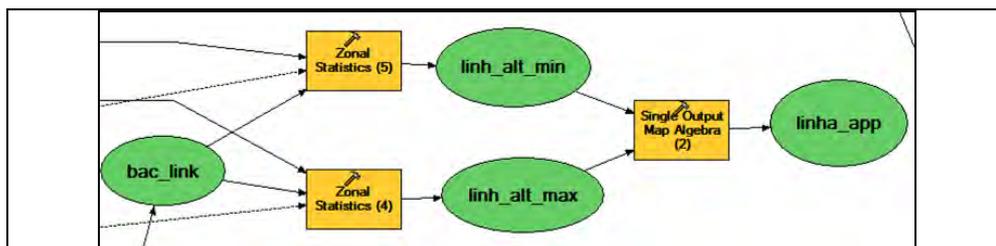
Segundo Ribeiro *et al.* (2005), segmento, é o trecho da hidrografia compreendido entre uma nascente e uma confluência, entre duas confluências sucessivas ou, ainda, entre uma confluência e a foz da malha hidrográfica. Para gerar a bacia de contribuição de cada segmento, inicialmente calculou-se a menor distância à foz em cada segmento e a distância máxima.

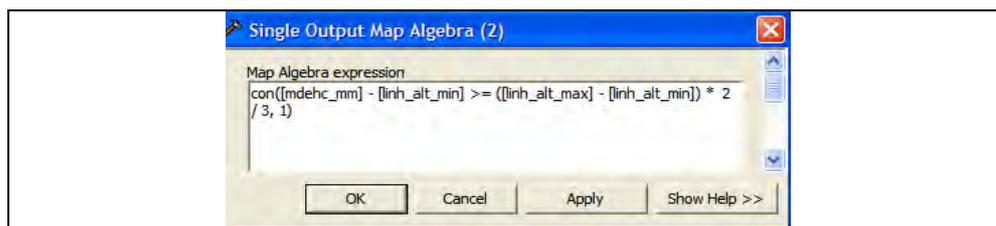
Depois, utilizou-se a função *Minus* que subtrai o valor de duas *raster*, resultando na diferença entre as duas. No caso, as camadas tem a distância máxima e mínima do segmento em relação à foz, respectivamente. A subtração das duas resulta no comprimento de cada segmento.

A área de contribuição drenada por cada segmento foi calculada por meio da função *Watershed*, que calcula e identifica a área de contribuição à montante de um dado segmento.

Para mapear o terço superior de uma encosta é imprescindível a adoção de duas referências: uma superior (o divisor de águas) e outra inferior (a base do morro ou o curso d'água mais próximo). O processo inicia-se com a hidrografia contendo a altitude das células, completando com a bacia de contribuição para cada célula da hidrografia. Assim cada sub-bacia será identificada como sendo a área de contribuição de cada segmento da hidrografia.

As linhas de cumeada (*linha\_app*) são definidas pelo campo de valor da imagem que contém a estatística de máximo (***linh\_alt\_max***) e mínimo (***linh\_alt\_min***) respectivamente, utilizando a função *Zonal Statistics*, onde o maior e o menor valor de todas as células pertencem a uma mesma zona (*bac\_link*) para a identificação do morro. Em seguida, identifica-se a altura desse morro e calcula-se a cota associada ao seu terço superior (Figura 17).

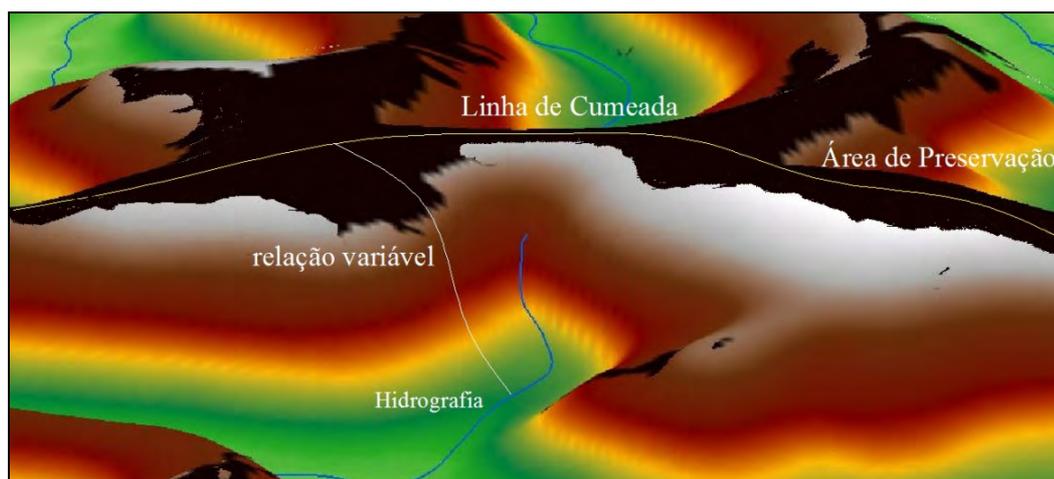




**Figura 17: Determinação do terço superior das Áreas de Preservação Permanente em Linha de Cumeada.**

Para cada um desses segmentos, a cota do terço superior da encosta é recalculada, levando-se em consideração a base do morro como referência, contendo as linhas de cumeada com altura maior que 50,0 metros.

O procedimento é executado para todos os divisores d'água da área de estudos, obtendo-se, ao final, um *grid* com as áreas de proteção ao longo das linhas de cumeada de acordo com a Figura 18.



**Figura 18: Representação das Áreas de Preservação Permanente em Linha de Cumeada.**

O mapa da Área de Preservação Permanente total (APP\_total) foi obtido através da sobreposição dos mapas APP1, APP2, APP3, APP4, APP5, e APP6, por meio da soma de mapas e eliminando a sobreposição, através do comando *Zonal Geometry* foi possível encontrar a área total de APP, porque este comando calcula para cada zona de pixels, suas características geométricas como área.

### **3.5 MODELAGEM CONJUNTA DAS APPS NO AMBIENTE ARCGIS.**

As rotinas específicas foram desenvolvidas com o *ModelBuilder* (APÊNDICE B), disponibilizado junto ao *ArcToolbox*, do ArcMap 9.3 (©*Environmental Systems Research Institute*). Para tanto, na *Interface* do módulo deve ser fornecido os dados de entrada representados pela chave, enquanto que os resultados intermediários representados pelas setas, são os mapas gerados pela metodologia, conforme Figura 19.



**Figura 19: Interface do Modelo para Determinação das Áreas de Preservação Permanente**

Essa metodologia utiliza como entrada o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado que é representado por um *grid*, onde cada célula tem um determinado valor, neste caso altitudes, ou seja, cotas do terreno. Além do MDE, é necessário um *shapefile* (um arquivo vetorial) da hidrografia e outro arquivo vetorial de pontos contendo as nascentes. Os pontos de nascentes podem ser obtidos a partir de coleta de dados com GPS em campo ou através da digitalização em cartas do IBGE.

O arquivo *shapefile* da hidrografia contem feições do tipo linha, que ao decorrer do processamento é convertido para o formato *raster* de forma a completar os dados de criação das APPs.

Os procedimentos estão sintetizados no fluxograma apresentado na Figura 20. A sequencia apresentada no fluxograma é:

- 1 – Entrada de dados;

2 – Processamento dos dados;

3 – Geração das APPs;

4 – Resultados;

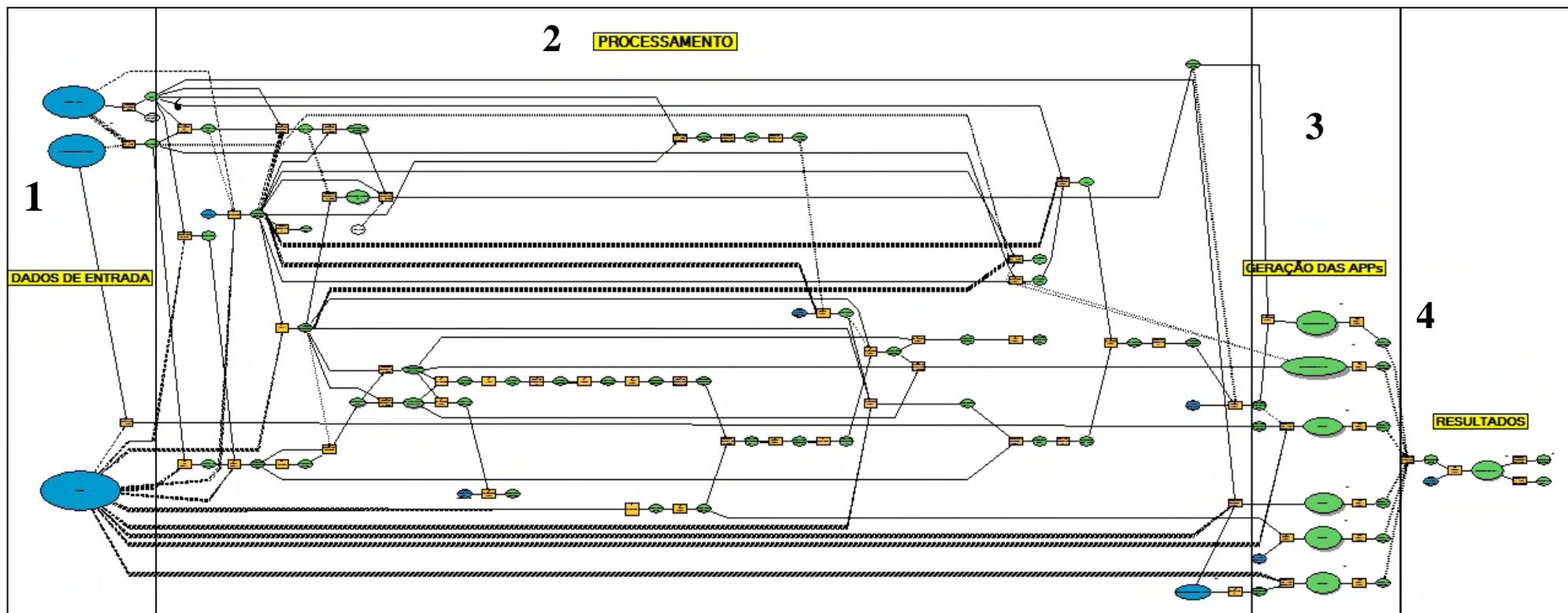


Figura 20: Fluxograma dos passos do processamento.

Desta forma, alguns parâmetros devem ser observados, a resolução espacial do MDEHC deve seguir um padrão desde a entrada até a geração dos mapas, neste estudo a resolução adotada foi de 5 metros.

### **3.6 VALIDAÇÃO QUALITATIVA DOS RESULTADOS.**

A avaliação do desempenho da modelagem da metodologia foi realizada, por comparação de resultados com outros trabalhos de mapeamentos de APPs e posteriormente com avaliação quantitativa das áreas mapeadas.

Foram feitas tentativas esporádicas para avaliar e validar as ferramentas existentes. Foi sugerido que o controle de qualidade fosse exercido ao nível do modelo e ao nível gráfico. O que significa que deveriam ser desenvolvidas especificações quantitativas e qualitativas distintas relacionadas com a métrica, a topologia, a semântica dos modelos.

Para efeito de validação qualitativa dos resultados, utilizou-se uma comparação visual com Moreira (2009), para tanto, foi selecionado uma amostra da área de estudo coincidente da mesma área.

Torne-se oportuno mencionar que foi selecionada uma amostra porque os limites não coincidem.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento do aplicativo para a determinação das APPs parte da hipótese de que o usuário já tenha obtido o MDEHC. A Figura 21 apresenta o MDEHC gerado e utilizado como parâmetro de entrada no aplicativo. Todos os resultados estão georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, e encontram-se representados no Sistema UTM, referenciados no Sistema Geodésico SIRGAS2000 no fuso 23 S.

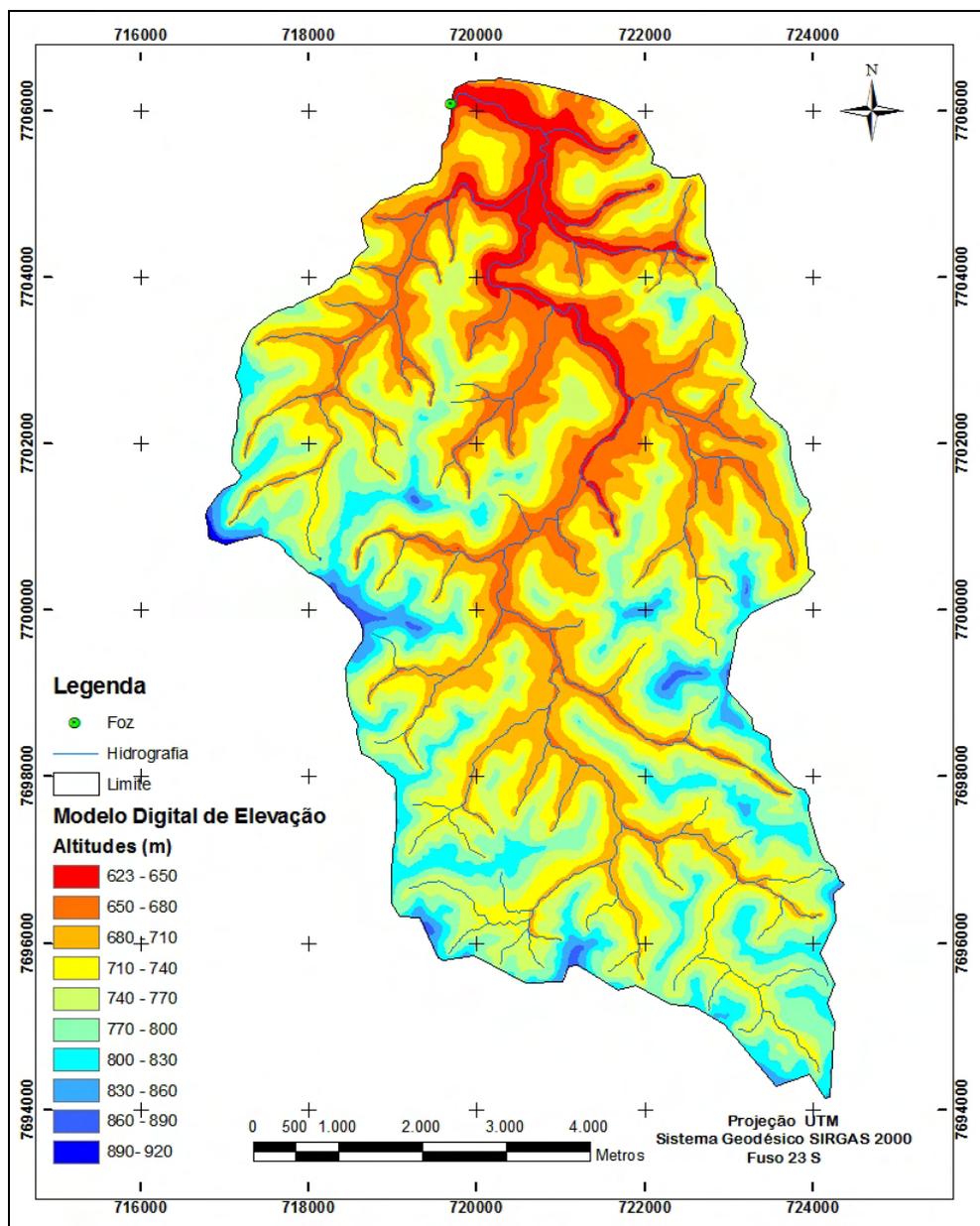


Figura 21: Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado.

Utilizando o modelo desenvolvido para determinar as Áreas de Preservação Permanente observou-se que a microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu que possui uma área de 5.510 ha, foi gerado através do processamento desta metodologia uma área de 2.154,09 ha (39,09 %) de APP, tendo como referência legal a Resolução nº 303 do CONAMA apresentada no ANEXO A.

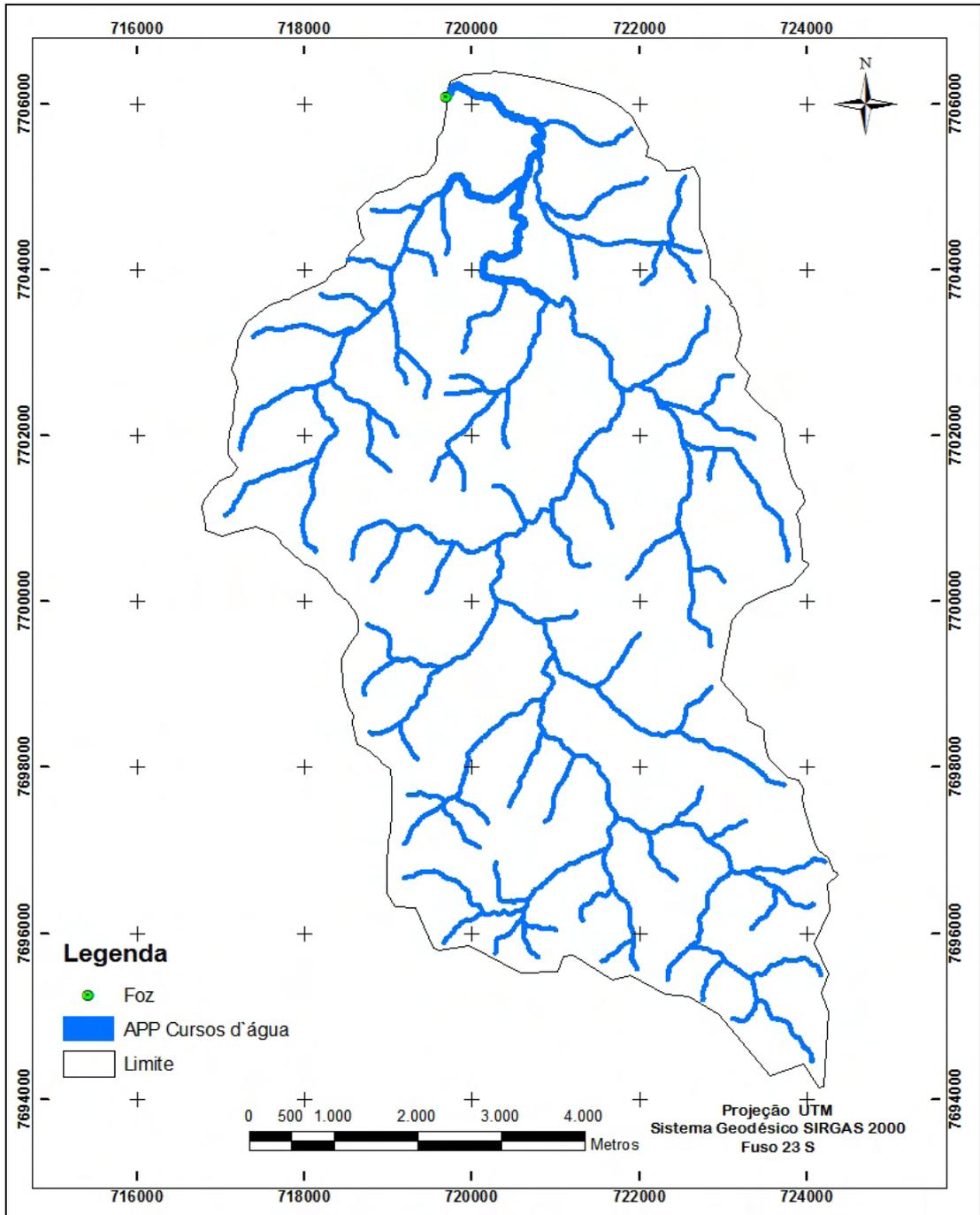
A metodologia para delimitação automática das Áreas de Preservação Permanente permitiu a espacialização das categorias situadas nas faixas marginais ao longo dos cursos d'água (APP1), entorno das nascentes (APP2), áreas de contribuição das nascentes (APP3), topos de morros e montanha (APP4), encostas com declividades superiores a 45° (APP5) e no terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada (APP6), a Tabela 2 são apresenta as áreas de cada uma das categorias de APP's.

**Tabela 2.: Áreas das APPs delimitadas para a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.**

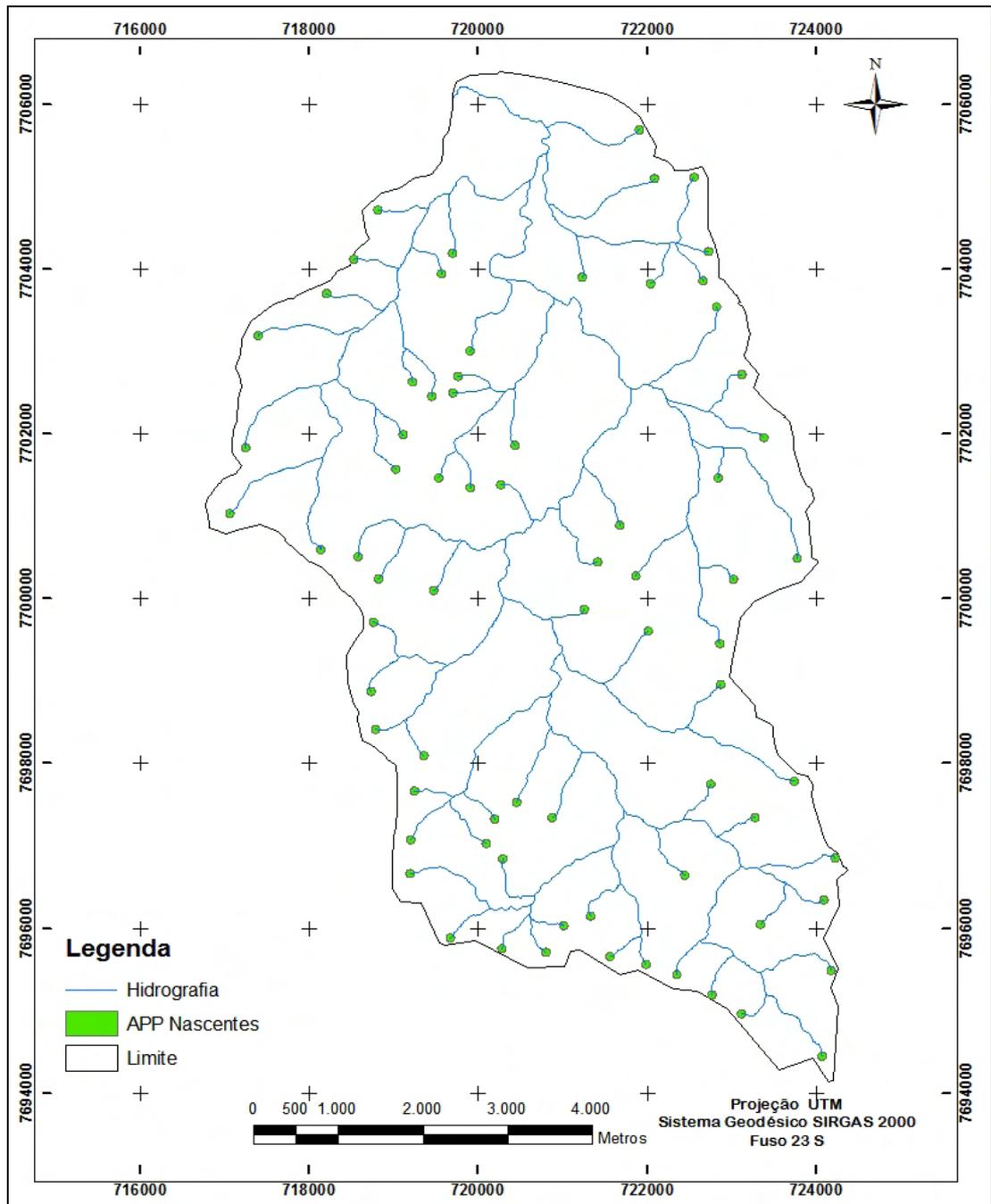
<b>Categorias de APP</b>	<b>Área Total (ha)</b>
Curso d'água - APP 1	521,38
Entorno das nascentes - APP 2	60,17
Contribuição das nascentes - APP 3	140,85
Topos de morro - APP 4	299,14
Declividade superior a 45° - APP 5	0,90
Linha de cumeada - APP 6	1131,65
<b>TOTAL</b>	<b>2154,09</b>

As áreas de preservação permanente (Tabela 2) foram delimitadas de forma individual, de modo que fossem superpostas após a identificação de cada uma. Os itens seguintes exibem as respectivas áreas de preservação de acordo com sua localização na microbacia de estudo. 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)*.

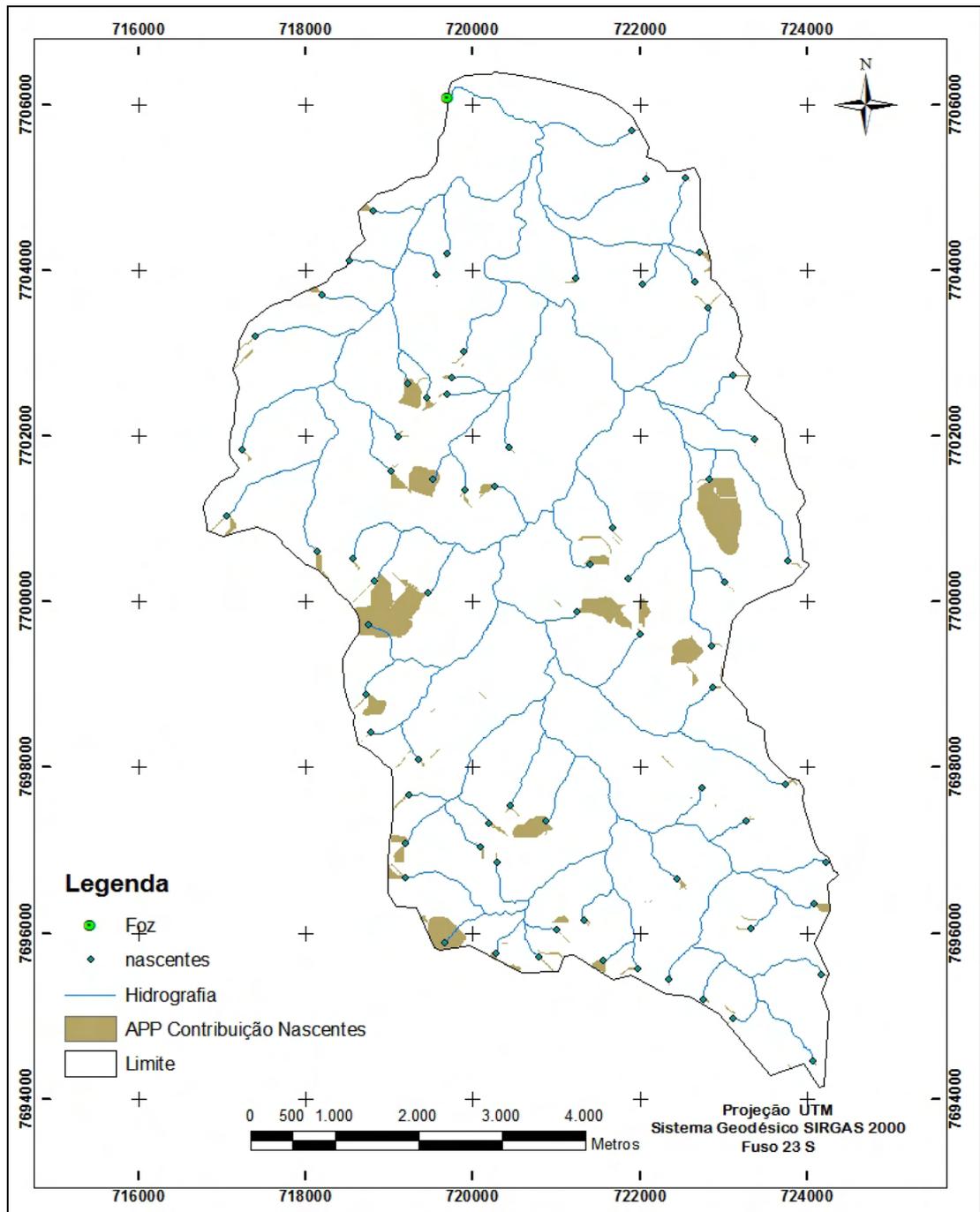
Assim, nas Figuras 22 a 27 são apresentam-se os mapas gerados pela metodologia desenvolvida na modelagem.



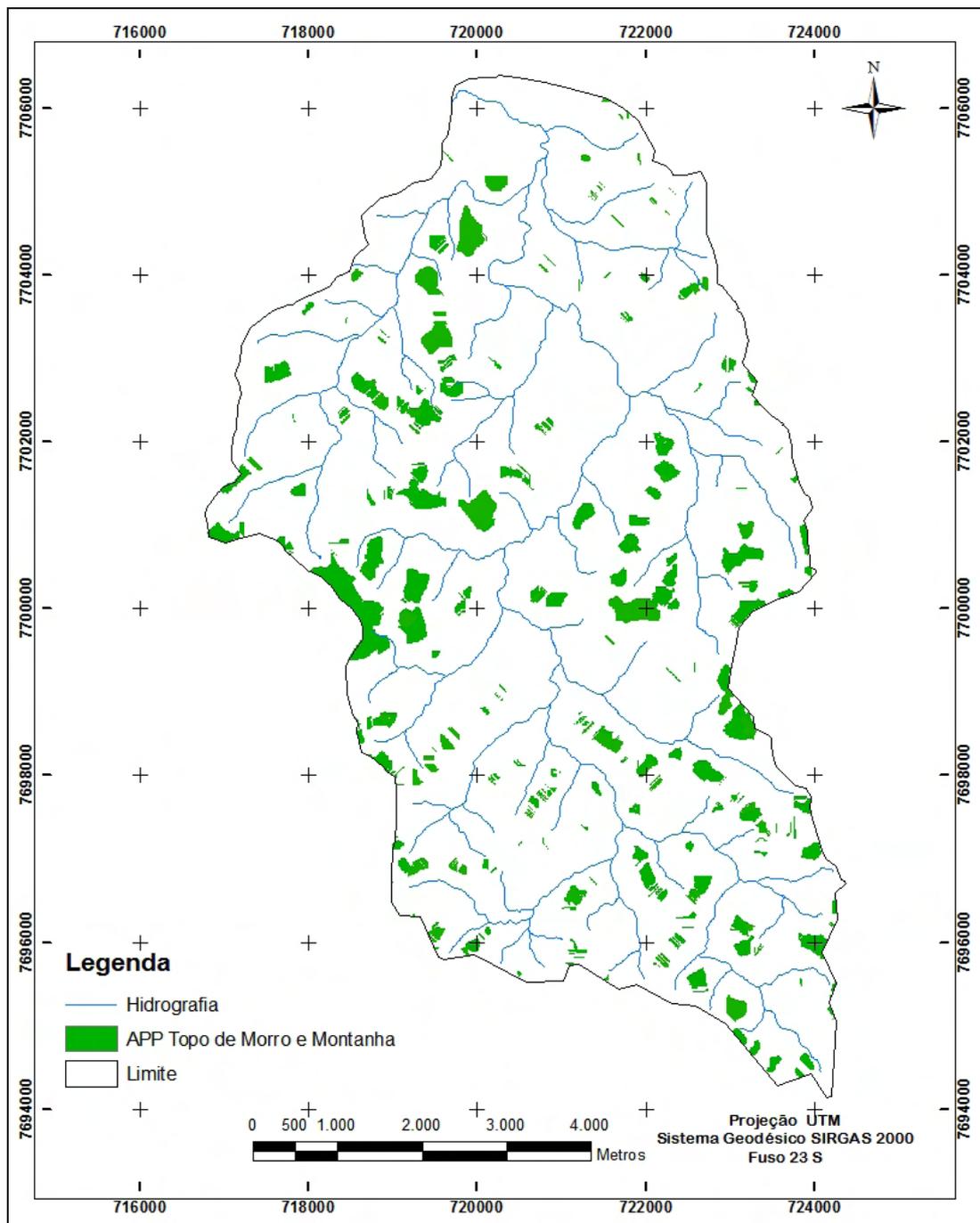
**Figura 22: Áreas de Preservação Permanentes localizadas longo dos cursos d'água na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.**



**Figura 23: Áreas de Preservação Permanentes localizadas ao redor das nascentes na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.**



**Figura 24: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nas áreas de contribuição das nascentes na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.**



**Figura 25: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nos topos de morro na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.**

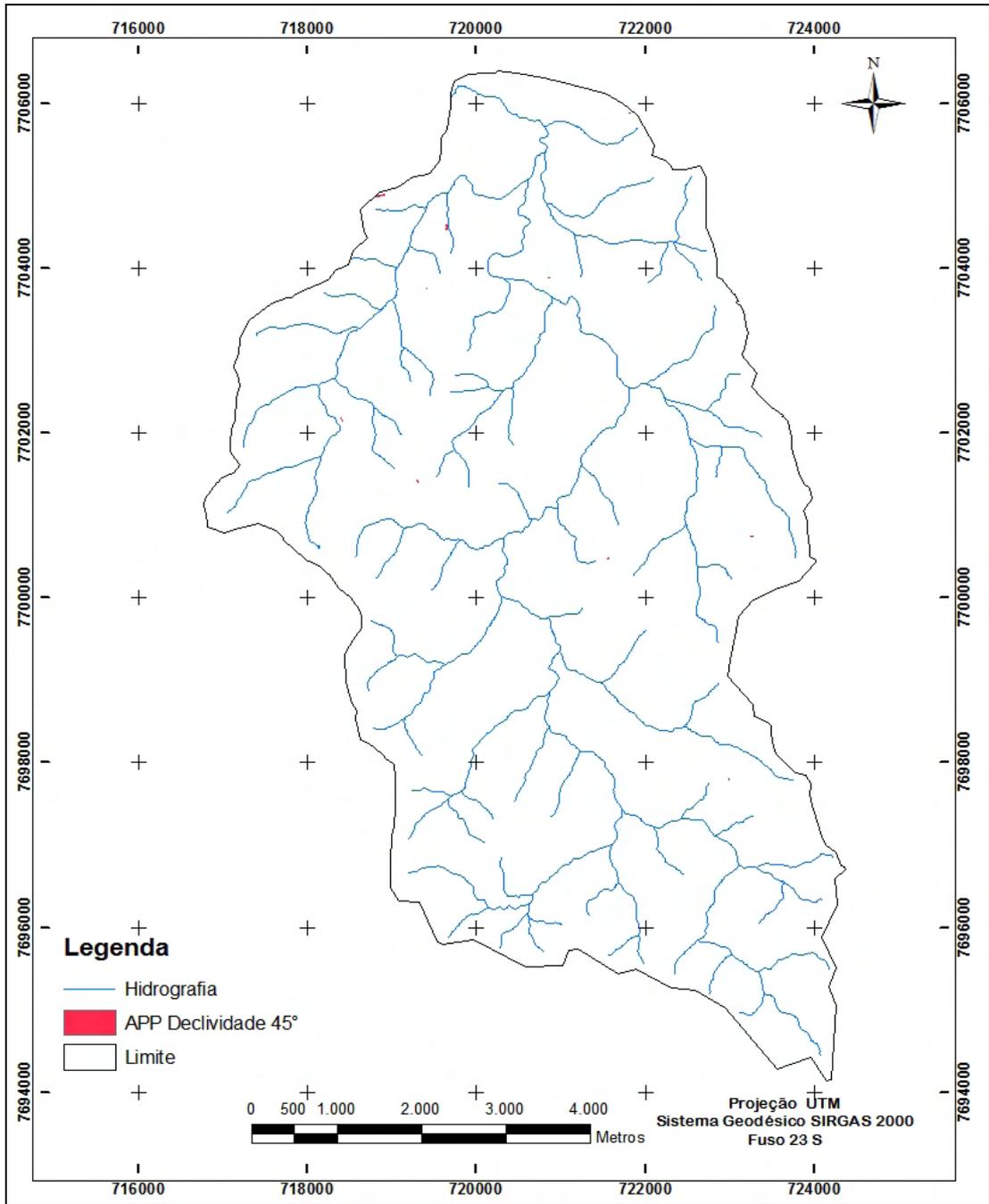
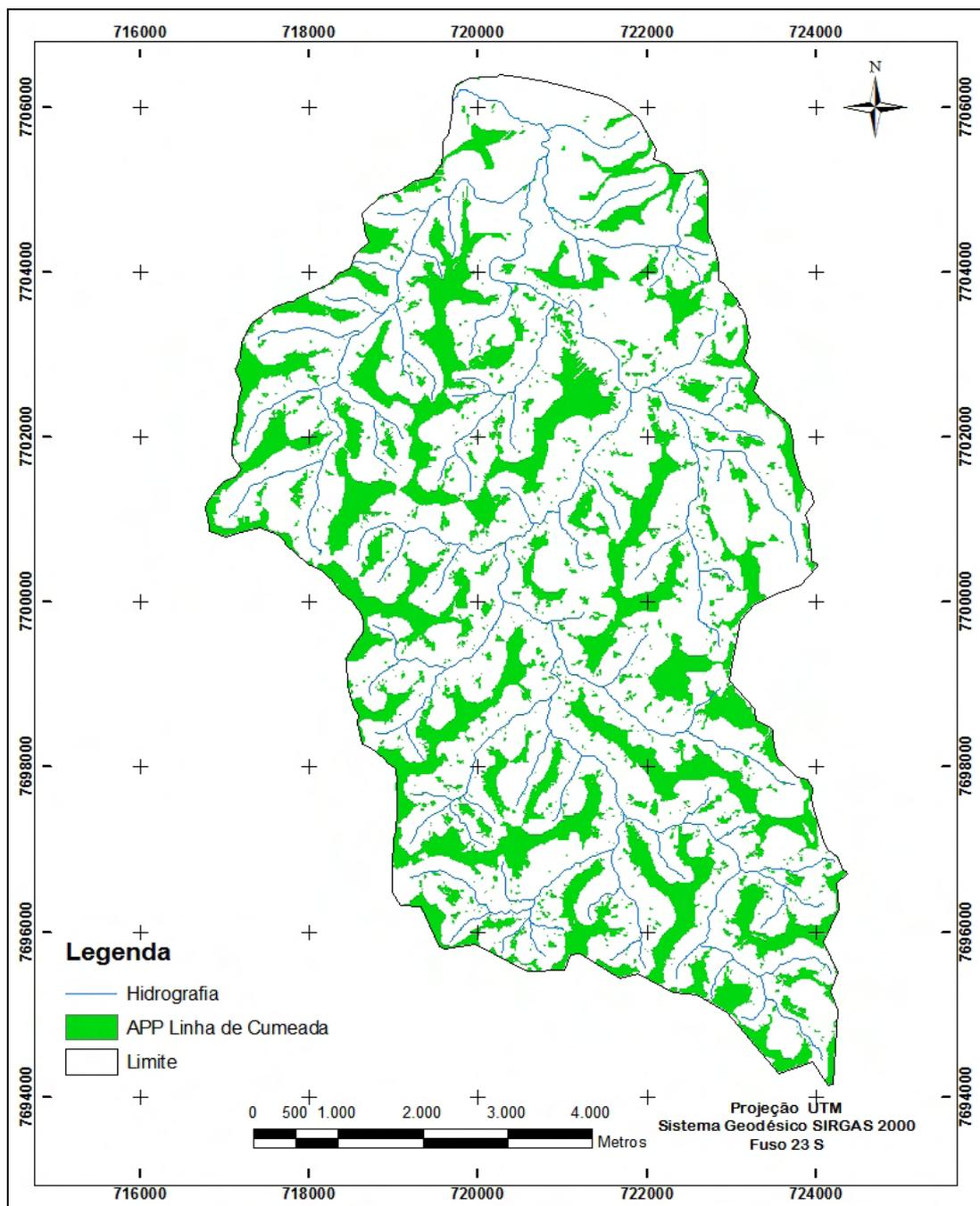


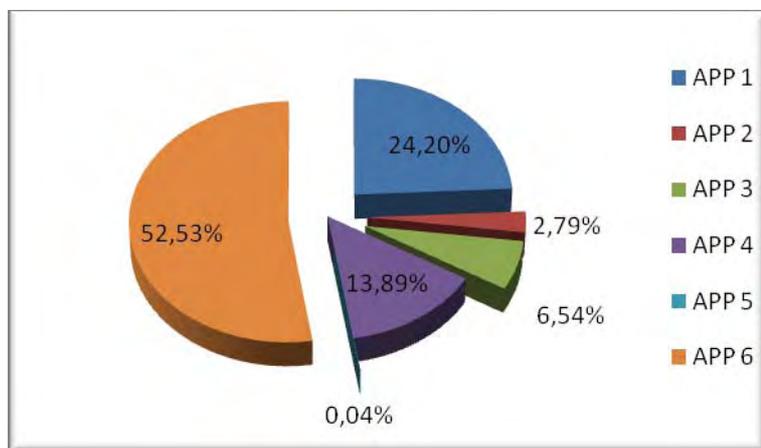
Figura 26: Áreas de Preservação Permanentes localizadas nas área com declividade superior a 45° na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.



**Figura 27: Áreas de Preservação Permanentes localizadas no terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada na microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.**

A categoria com maior representação na área de estudo corresponde ao terço superior da bacia ao longo das linhas de cumeada, somando aproximadamente

metade (52,53 %) das áreas de proteção ambiental, enquanto que as áreas com declividades superiores a 45° apresentaram a menor participação dentre as categorias mapeadas, apenas 0,04 % do total de APP's, conforme Figura 28.



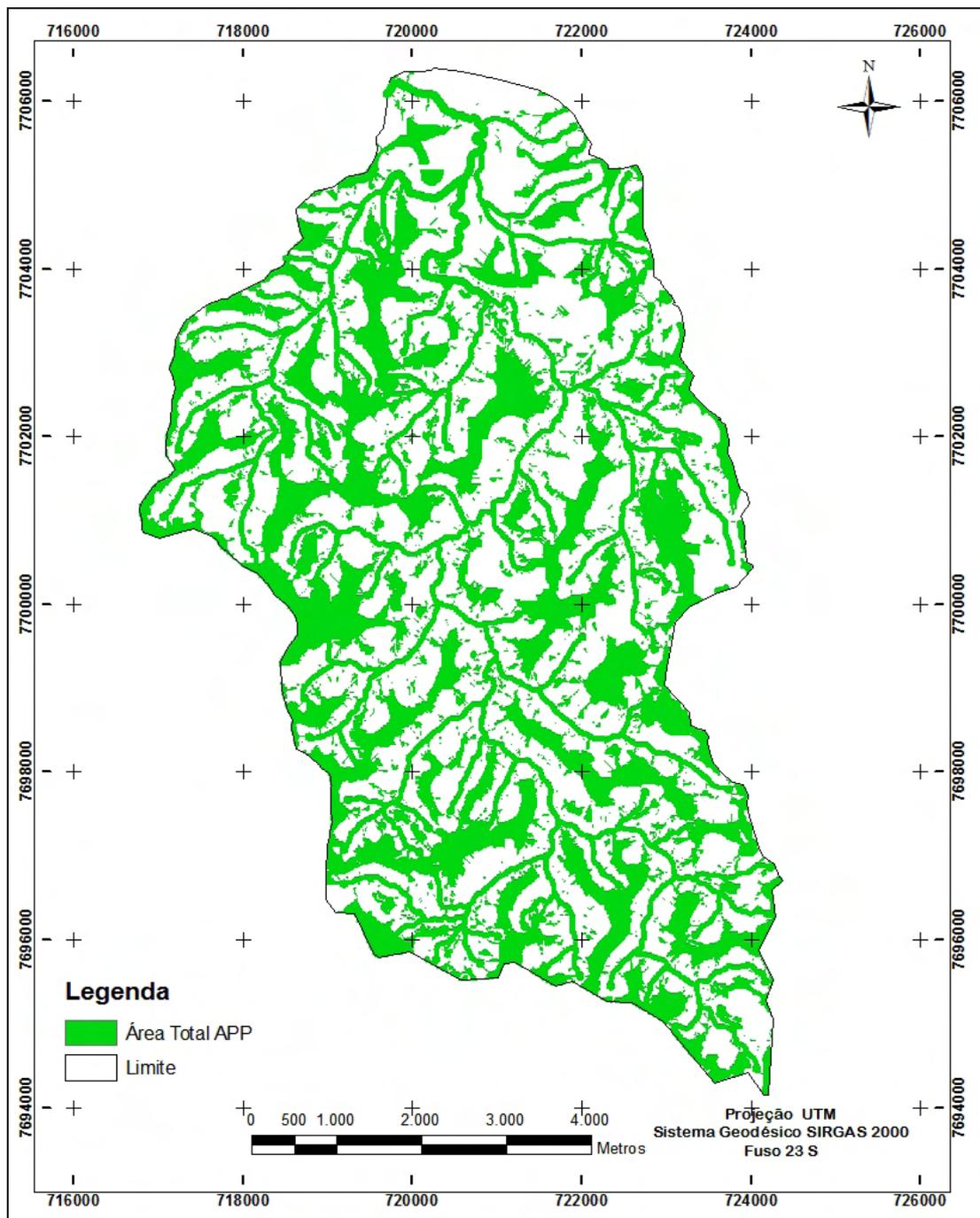
**Figura 28: Porcentagens das Categorias de Áreas de Preservação Permanente.**

Os dados apresentados na Tabela 2 não indicam que há sobreposição de APP's de diferentes categorias, mas essa sobreposição acontece, de forma natural, na ordem de 10% do total das APPs, ocorrendo principalmente entre as categorias de APP's terço superior da bacia na linha de cumeada, área de contribuição das nascentes e topo de morros.

Deve-se considerar, entretanto, que a definição de morro é imprecisa, pois existem diferentes conceitos sobre seus elementos definidores. Dentre eles, destacam-se: O conceito de base do morro, pois é um elemento de difícil determinação, pois não existem levantamentos e mapas que o representam, por não ser um elemento representativo formado por uma reta, e sim por uma estrutura bastante irregular, portanto, muitas vezes a conceituação de base fica a critério do analista.

Na metodologia, para a base da elevação adotou-se a menor elevação ou o curso d'água mais próximo, determinada pela cota da depressão mais baixa ao redor da mesma, usando a hidrografia mapeada para esta determinação.

A Figura 29 mostra as áreas ocupadas pelas categorias de APPs em sua totalidade na microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.



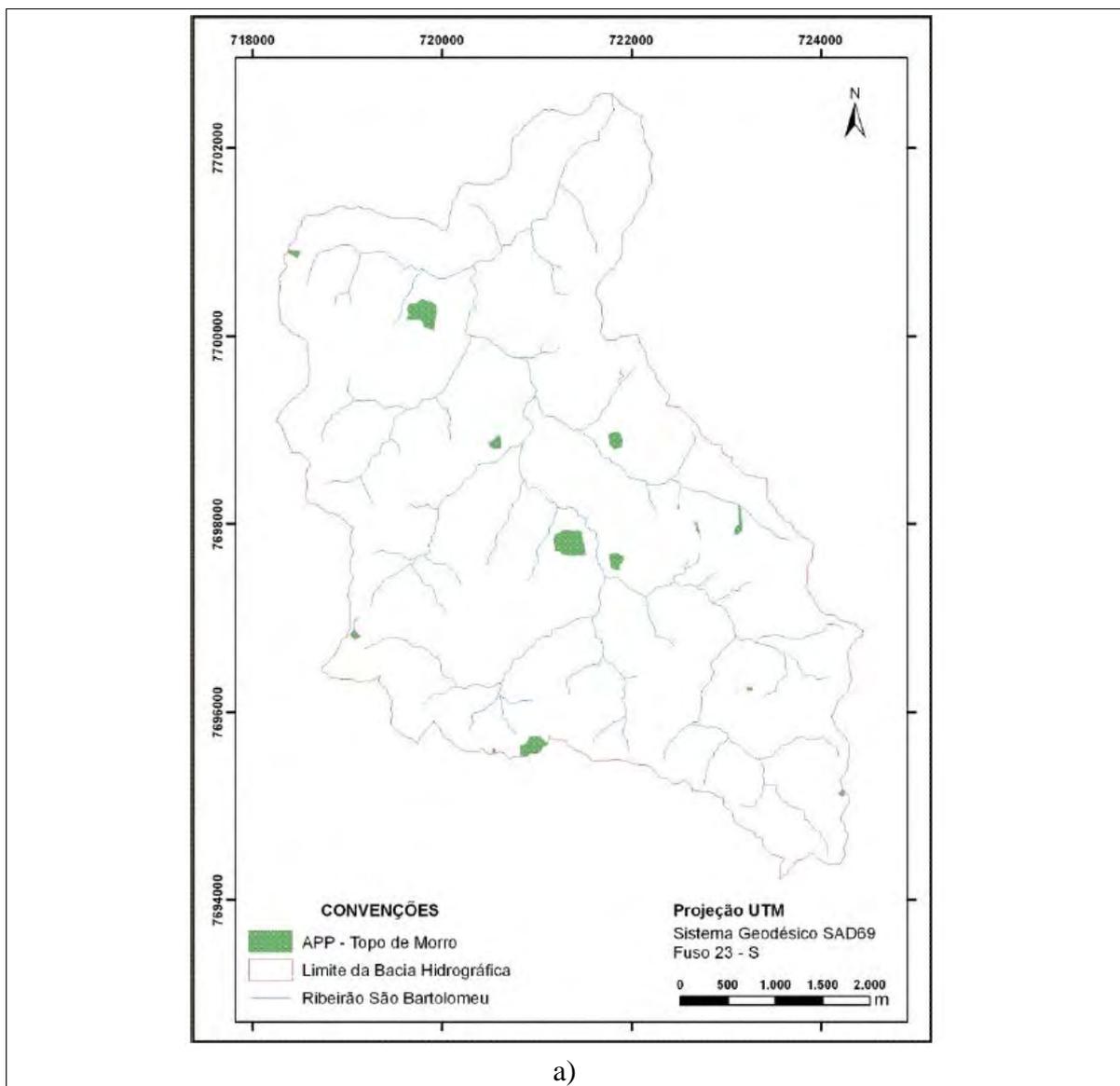
**Figura 29: Mapa Total das APPs delimitada para a microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.**

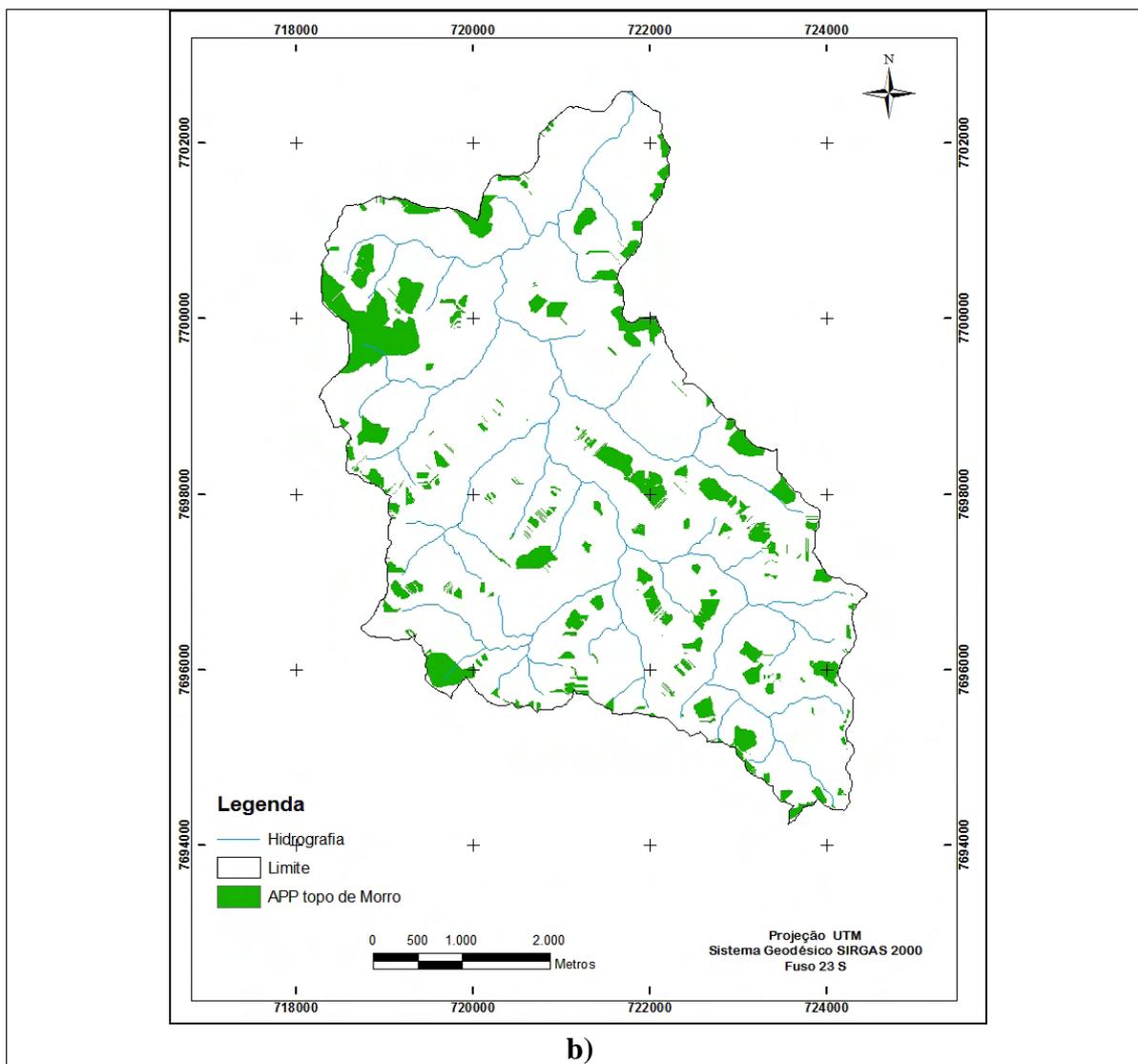
Fez-se uma análise, com trabalhos já executados sobre o assunto, dentre eles, destaca-se Moreira (2009), que fez uma delimitação das APPs ao longo da parte rural da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu.

Neste trabalho conduzido por Moreira (2009), o resultado final das áreas de preservação permanente, mostrou que na delimitação das APPs de terço superior das

sub-bacias (APP-5) Figura 30a, foram encontrados cerca de 1.037,32 ha de APP para a área de estudo.

Levando em consideração a mesma área adotada por Moreira (2009), e utilizando a metodologia deste trabalho para delimitação das APPs, o resultado encontrado demonstrou que a APP no terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada (APP6) Figura 30b, mostrou-se bastante próxima, uma vez que foram delimitadas 1131,65 ha para a mesma categoria de APPs, estes valores aproximados podem ser comprovados mediante observação realizada na Figura 30.





**Figura 30: a) Resultado das APPs encontrado por Moreira (2009) na microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, b) Resultado encontrado utilizando a metodologia deste trabalho. Fonte: a) Moreira (2009).**

Nota-se que pequena diferença de área entre as metodologias comparadas (Figuras 30, a e b), poderia ser possivelmente ocasionada devido ao estabelecimento de áreas mínimas mapeáveis aplicado ao procedimento executado por Moreira (2009), onde pequenas áreas isoladas encontradas como APPs, foram eliminadas.

Em contrapartida, houve uma diferença em relação ao mapeamento das APPs de topo de morro, de acordo com Moreira (2009), que na delimitação das APPs de topo de morro (APP-1) para a área rural da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, encontrou 27,96 ha de APP, utilizando a metodologia adotada neste trabalho para a mesma área, a delimitação das APPs de topo de morro (APP4), ou seja, para a

mesma categoria de Moreira (2009), foram delimitados 86,44 ha de APP, o que pode indicar diferença na metodologia, não sabendo ao certo o que ocorreu para esta diferença de valores nesta categoria de APP.

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi possível executar a delimitação automática das Áreas de Preservação Permanente em suas categorias quanto as APP situadas nas faixas marginais ao longo dos cursos d'água, entorno das nascentes, áreas de contribuição das nascentes, topos de morros e montanha, encostas com declividades superiores a 45° e no terço superior da bacia e ao longo das linhas de cumeada, totalizando 2154,09 ha de área de preservação ocupando 39,09% do total da microbacia.

A partir desta metodologia é possível fazer a integração, a outras bases de dados, sendo facilmente adaptada para novas situações e bacias. A interface é amigável, e não requer um longo treinamento de operação por parte dos usuários.

A metodologia utilizada possibilitou a otimização do trabalho fornecendo um ambiente rico, envolvendo o SIG e a modelagem de processos. Outra perspectiva envolvendo a metodologia é a criação de um modelo documentado para cada passo.

A metodologia poderá utilizar bases de dados existentes desenvolvidas, facilitando sua utilização de forma personalizada para atender às necessidades específicas, além de utilizar uma plataforma simples e estar ao alcance do público.

As leis ambientais e as resoluções CONAMA precisam detalhar os parâmetros de forma a não causar interpretações equivocadas. Além disso, a escala de mapeamento ou resolução espacial dos dados, quando não é especificada pelas leis ambientais e resoluções CONAMA, dá oportunidade da escolha de informação, ou seja, impossibilidade de delimitação de algumas APPs, o que justifica ainda mais um desenvolvimento melhor da base de dados.

A avaliação dos procedimentos metodológicos e a compreensão das funções envolvidas na caracterização das ocorrências espaciais de APPs são fundamentais para que a metodologia utilizada evolua. O avanço da tecnologia destinada a delimitação das APPs depende da avaliação da metodologia e da verificação do grau de dificuldade da interpretação de conceitos na área ambiental. Dessa forma, um trabalho de pesquisa pode resultar em contribuições metodológicas ou tecnológicas,

como não houve um mapeamento em campo de áreas de preservação para uma validação, fez-se meramente uma comparação, contudo fica a sugestão para trabalhos futuros.

Adicionalmente, é importante destacar que as leis ambientais e as resoluções CONAMA não especificam qual é a escala de mapeamento e/ou resolução espacial dos dados para a delimitação das APPs, com isso para trabalhos futuros deve-se testar a viabilidade da utilização de outro modelo digital, com resolução espacial diferente, utilizando a metodologia apresentada neste estudo.

Uma hipótese seria a utilização das bases de dados (SRTM) com aproximadamente 90 ou 30 metros de resolução espacial para a delimitação de APPS, uma vez que o MDE abrangeria uma área maior com custo reduzido.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONOFF, S. Geographic Information System: a Management Perspective. WBL Publications. Ottawa, 1989.
- BARROSO, W. R., Delimitação das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo na Região de Viçosa, MG. Departamento de Engenharia Civil – UFV, Viçosa – MG, 2006.
- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L4771compilado.htm>, 1965.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de Março de 2002, dispõe sobre as áreas de preservação permanente. Disponível em: <http://www.ibamapr.hpg.ig.com.br/30302RC.htm>, 2002.
- CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de Microbacias. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Orgs). As florestas plantadas e a água. São Carlos. Projeto CNPq/CTHIDRO, 2006. p 45-59.
- CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Santo Antônio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 30-43, 2007.
- COELHO, M.C.N.; BORGES, O.R.; Política ambiental no contexto da legislação e das políticas nacionais de desenvolvimento econômico, científico e tecnológico. In: Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, 1, 1984, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, v.1, 344p, 1984.
- COSTA, T. C. C.; SOUZA, M. G.; BRITES, R. S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Bahia, Anais Eletrônicos. São José dos campos: INPE. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.16.17/doc/T48.pdf>, p. 121-127, 1996.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. ArcGIS Professional GIS for the desktop, versão 9.3 CA., 2008.
- GOODCHILD, M. F., Spatial Autocorrelation, Catmog 47, Geo Books, Norwich, Acessado em <http://www.geog.ucsb.edu/~good/>, 1986.
- HOTT, M.C.; GUIMARAÃES, M.; MIRANDA, E.E. Um método para determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais Eletrônicos. São José dos campos: INPE, Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.13.47.22/doc/3061.pdf>, p. 3061-3068, 2005.

HOOT, M. C.; FURTADO, A. L. S. Metodologia para a determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas. EMBRAPA – Documentos 43, Campinas – SP, 2005.

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

MACHADO, K.M; CALIJURI, M.L.; RIBEIRO, C.A.A.S., SANTOS, R.S. Delimitação Automática da Capacidade de Armazenamento de um Reservatório. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n° 62 EDIÇÃO ESPECIAL N° 1, julho 2010 / n° 62/1. Disponível em: [http://www.rbc.ufrj.br/\\_2010/\\_RBC62\\_ESPECIAL\\_1.htm](http://www.rbc.ufrj.br/_2010/_RBC62_ESPECIAL_1.htm). Acesso em 02/set/2010.

MOREIRA, A. A. Identificação de conflito de uso da terra em microbacia hidrográfica. 1999. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

MOREIRA, A. A. Mapeamento de áreas de preservação permanente e dos conflitos de uso da terra em propriedades rurais. 1999. 128p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.

MOREIRA, A. de A.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C.; SILVA, E.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais Eletrônicos.. São José dos campos: INPE, Disponível em [http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.12.11.06/doc/12\\_079.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.12.11.06/doc/12_079.pdf), p. 1381-1389, 2003.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio alegre. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia - GO. Anais Eletrônicos. São José dos Campos: INPE, Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.18.18.26/doc/2289.pdf>, 2005.

OLIVEIRA, A. M. S., **Impacto econômico da implantação de áreas de preservação permanente na bacia do Rio Alegre, município de Alegres**. Viçosa: UFV, 2005. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

- OLIVEIRA, M.Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; et al. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: Um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG). In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis – SC. Anais Eletrônicos, São José dos Campos: INPE, Disponível em <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.53/doc/4119-4128.pdf>, p. 4119-4128, 2007.
- RIBEIRO, C. A. A. S.; OLIVEIRA, M. J. de; SOARES, V. P.; PINTO, F. de A. de C. Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morro e em linhas de cumeada: metodologia e estudo de caso. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 5, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 2002.
- 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, Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n2/a04v29n2.pdf>, p.203-212, 2005.
- SCHIMITH, R. F.; VIEIRA, E. M.; XAVIER, F. V.; OLIVEIRA, J. C. de; FILHO, ELPÍDIO INÁCIO FERNANDES. Identificação de áreas de preservação permanente e monitoramento utilizando imagens Aster. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 6, 2004, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG, 2004.
- SERIGATTO, E. M. **Delimitação automática das áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Sepotuba-MT**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 188 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SILVA, E. Código Florestal Brasileiro: função e áreas de preservação permanente. In: Simpósio Internacional sobre Ecossistema Florestais, 4, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: p.48, 1996.
- SOARES, V. P. et al. Avaliação das áreas de uso indevido da terra em uma microbacia no município de Viçosa – MG, através de fotografias aéreas e sistemas de informação geográfica. **Revista Árvore**, v.26, n.2, p. 243-251, 2002.
- TEIXEIRA, A. de A.; PRADO, A. de; SILVA, M. A.; WARREN, M. S.; HAUSCHILD, R. M. P. R.; SOUZA, F. M. L.; NETO, V. S. C. Topologia Hídrica: uma Proposta para Gestão de Recursos Hídricos Utilizando Sistema de Informações Geográficas. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis – SC, 2007, **Anais**.
- 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.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 245p, 1975.

VICTORIA, D.C.; HOTT, M.C.; MIRANDA, E.E.; OSHIRO O.T.. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros para o Território Brasileiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2 n.2, p. 66-72, 2008.

## APÊNDICE A

### ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROGRAFICAMENTE CONDICIONADO NO TOPOGRID

De posse dos dados processados na *Geodatabase* onde são levantados os temas hidrografia, limite e altimetria (curva de nível), pode-se obter o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado – MDEHC.

#### 1. ETAPA

##### *Procedimentos ARCGIS:*

Para a geração do MDE utiliza-se o interpolador TOPOGRID existente no ArcInfo.

Iniciando o ArcInfo

- inicie o ArcInfo no seu computador. Isto pode ser feito na janela do gerenciador de programas (Start – Programs – ArcInfo – ArcInfo WorkStation – ArcTools).

- quando o ArcInfo é iniciado, abre-se uma janela chamada ArcTools. Nessa janela o usuário tem a opção de iniciar diversas ferramentas (ferramenta de mapas, de edição, de operações com grids, de comandos,...). Selecione a ferramenta de comandos (Command Tools) e clique OK.

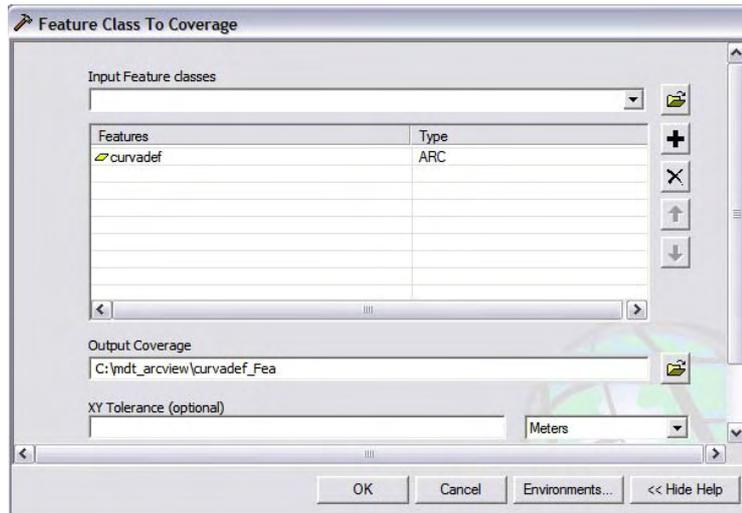
Convertendo arquivos do formato Shape (ArcView/ Geodatabase) para **ARC** (ArcInfo)

- Existem dois procedimentos para a conversão do formato Shape para o ARC:

A primeira seria utilizando o ARCGIS – ARCTOOBOX – CONVERSION TOOS – TO COVAREGE

Lembrando de não esquecer de colocar o Type como ARC para as curvas de nível e hidrografia.

Mas para o limite o Type deverá ser POLYGON



A segunda maneira seria utilizando o próprio topogrid de acordo com os procedimentos abaixo:

- para se converter os arquivos do formato Shape para Arc selecione a opção **“To Arc”**, no menu **“Conversion”**, e, em seguida, **“Shape to Arc”**.

- na opção **“input ArcView Shape”**, clique com o botão direito do mouse na janela em branco.

- utilizando o botão  e a janela **“Subdirectories”** para navegar até o diretório desejado e selecionar o tema de hidrografia.shp, na janela **“Coverages”**. Em seguida clique em **“OK”**.

- na janela **“Output Coverage”** digite o nome do arquivo de saída e clique em **“OK”**.

- repita o procedimento para os diversos outros temas necessários (curvas, lagos, contorno...).

Verificando o sentido da hidrografia:

- na janela **“Arctools”** escolha a opção **“Edit Tools”**.

- no módulo de edição (**Edit Tools**), em **“File”** → **“Open”** abra a *coverage* da hidrografia.

- serão abertas três janelas: uma com os arcos da hidrografia (**“Arcedit”**), outras duas de ferramentas: **“Edit Arcs & Nodes”** e **“Feature Selection”**.

- na barra ferramentas “**Edit Tools**”, no menu “**Display**”, selecione “**Pan Zoom**”, abrirá uma nova barra de ferramentas para auxiliar com o *zoom*.

- na barra de ferramentas “**Edit Tools**” → “**Display**” → “**Draw Env: General**” selecione em “**Features**”: *arc*, em “**Drawing Options**”: *arrows* e em “**Current env**”: *on*. Isto irá mostrar os arcos da hidrografia com o seu sentido.

- verifique os se os sentidos estão corretos: no sentido da nascente para a foz.

- caso algum arco esteja errado, selecione-o (utilizando a barra de

ferramentas “**Feature Selection**”, escolha a “setinha” , selecione o arco que deseja alterar.

- na barra de ferramentas “**Edit Arcs & Nodes**” selecione o comando “**Flip**”, este comando altera a direção do escoamento.

- salve as alterações em “**File**” → “**Save**”.

**Obs:** caso precise desfazer alguma alteração, existe o comando “**Oops**” na barra de ferramentas “**Edit Arcs & Nodes**”.

## GERANDO O MDE

Inicie o ArcInfo na janela do Gerenciador de Programas: Start – Programs – ArcInfo – ArcInfo Workstation – Arctools

Grid Tools

Statistics – Surface – Surface Analysis – Topogridtools Intepolation

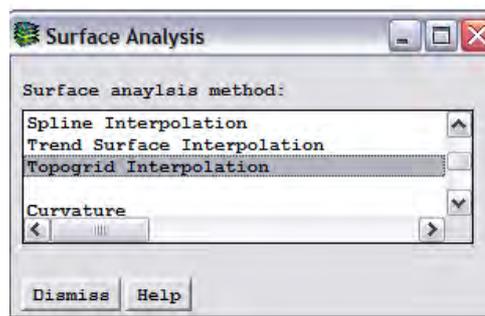


Figura 31: Topogrid Interpolation

Os passos a serem digitados na tela que se abre são os seguintes:

Output: nome de saída

Cell: 5 metros

Uma tela se abrirá:

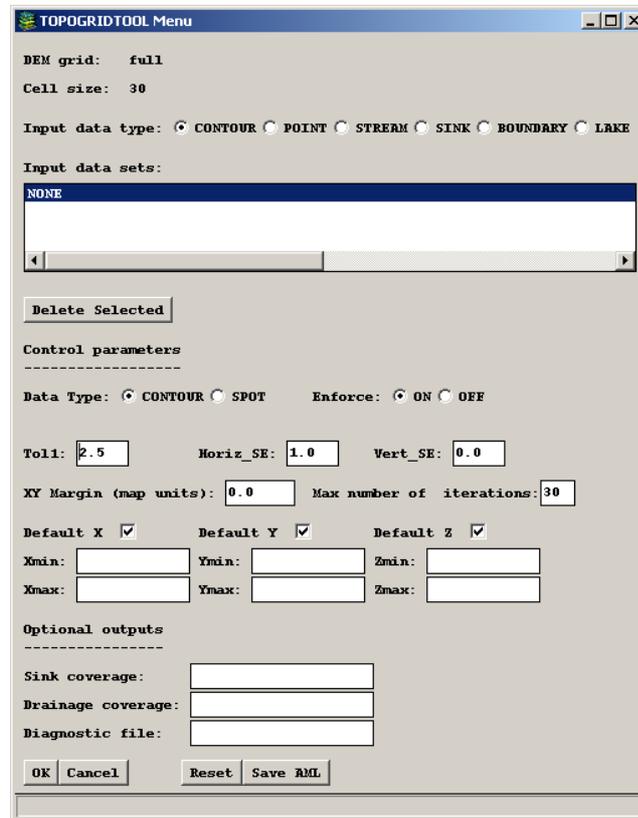


Figura 32: Interface do *Topogridtools*.

- clique em **CONTOUR** e informe a *coverage* das curvas de nível, indicando também o campo que contém as cotas.

- **POINT**: caso tenha pontos cotados.

- **STREAM**: entre com a *coverage* de hidrografia.

- **BOUNDARY**: entre com a *coverage* do limite da área.

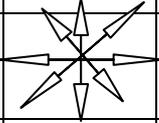
- aceite o restante como *default* e clique em “**OK**”, a operação de interpolação é iniciada.

*No Módulo ArcMap:*

1- Cálculo da direção de escoamento

Realizado através do comando flowdirection a direção do escoamento descreve e espacializa o sentido do fluxo entre cada célula do MDE e de suas oito células vizinhas. O escoamento será dado na direção do maior declive, recebendo um dos possíveis valores conforme apresentado na Figura 1.

d1 = flowdirection ([MDE])

32 (NO)	64 (N)	128 (NE)
16 (O)		1 (E)
8 (SO)	4 (S)	2 (SE)

(a) as 8 possíveis direções de escoamento para cada uma das células do MDE

67	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

(b) MDE raster

2	2	4	4	8
1	2	4	8	4
128	1	2	4	8
2	1	4	4	4
1	1	1	2	16

(c) Codificação das direções de escoamento

(d) direção do escoamento

Figura 1 – Processo de extração da direção de escoamento

## 2 – Identificação das depressões espúrias

Depressões espúrias são células cercadas por células com maiores valores de elevação. Sua presença em um modelo digital de elevação produz a descontinuidade

do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha comprometendo a identificação da rede numérica de drenagem. Para solucionar a questão dos problemas de depressões espúrias, primeiramente encontrou-se as depressões através do comando SINK na calculadora *raster* do ArcGIS 9.0.

$$s1 = \text{sink} ([d1])$$

### 3 – Delimitando a área de drenagem de cada depressão e identificando a menor altitude na borda das depressões

Para eliminação das depressões espúrias, é necessária a delimitação da área de drenagem de cada depressão. Isto é possível através do comando WATERSHED utilizando as direções de escoamento e as depressões espúrias identificadas anteriormente.

$$a1 = \text{watershed} ([d1], [s1])$$

As células da área de drenagem de cada depressão receberão todas o valor da menor altitude da borda da respectiva área de drenagem pelo comando ZONALFILL.

$$f1 = \text{zonalfill} ([a1], [MDE])$$

### 4 – Preenchendo as depressões

O comando CON faz com que as células com altitudes inferiores à menor altitude da borda da área de drenagem de uma depressão terão seus valores substituídos por esse valor. Deste modo as depressões espúrias são eliminadas.

$$p1 = \text{con} ([MDE] > [f1], [MDE], [f1])$$

O último passo é substituir no relevo do modelo inicial, o relevo corrigido das depressões. A associação do comando CON com o comando ISNULL permite essa substituição.

$$\text{mdehc1} = \text{con} (\text{isnull} ([a1]), [MDE], [p1])$$

## APÊNDICE B

Descrição Detalhada da Metodologia para determinação das Áreas de Preservação Permanente de topo de morro e Linha de Cumeada.

### APP4 - Topos de Morro e Montanha

Para obtenção da APP de topo de morro (APP4), aplicaram-se diversas funções e procedimentos para determinar o *grid* final da Área de Preservação.

Uma das chaves para derivar características hidrológicas sobre uma superfície é a capacidade de determinar a direção do fluxo de cada célula no *raster*. Isto é feito com a função de direção de fluxo *Flowdirection* utilizando como base para entrada o MDEHC (Figura 33).

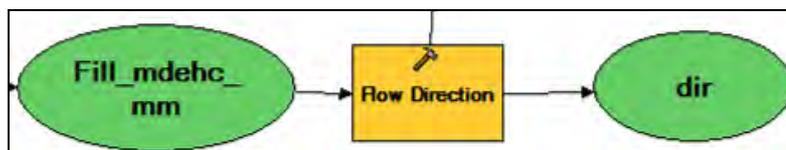


Figura 33: Direção de escoamento das células do modelo

Logo após este procedimento, foi utilizada a ferramenta *Reclassify* (Figura 34) reclassifica os valores de uma *raster*. Os valores da *raster dir* são reclassificados em novos valores e resultam na *raster dir\_rec* (Figura 35).

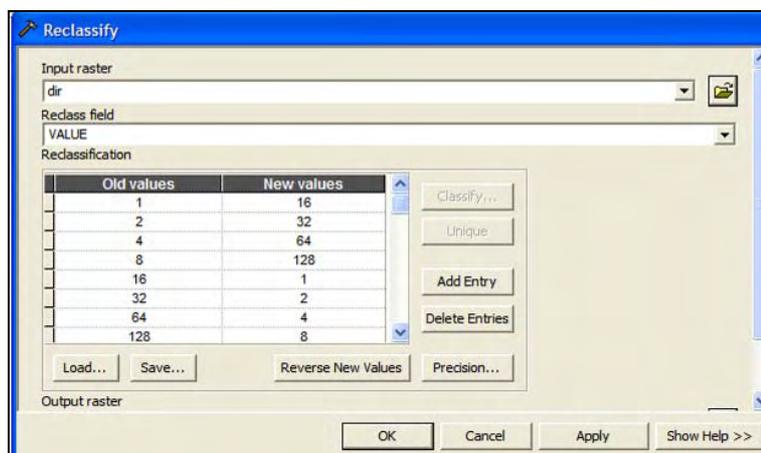


Figura 34: Ferramenta *Reclassify* com a inversão dos valores da direção de fluxo.

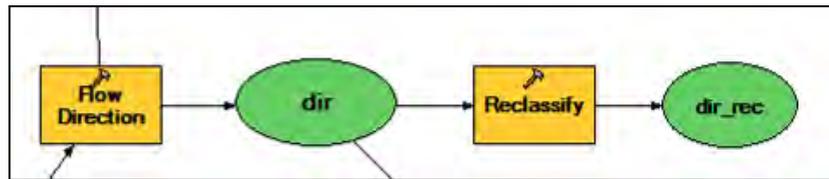


Figura 35: Direção de escoamento reclassificada

As células da hidrografia são eliminadas para que as depressões sobre as mesmas não sejam identificadas.

A função Set Null retorna valores NoData se a condição de cálculo é verdadeira e retorna valores específicos para outra *raster* se a condição é falsa. A *raster* IsNull\_hr\_r representa os resultados verdadeiro e falso da condição Value = 0 e a *raster* dir\_rec será a *raster* para o caso da condição ser falsa. A *raster* de saída dir\_rec\_hr (Figura 36), terá valor NoData caso valor da *raster* IsNull\_hr\_r for igual a zero e receberá o valor da *raster* dir\_rec caso a condição for falsa (Value = 1).

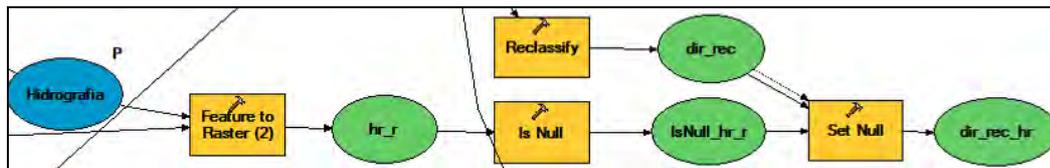


Figura 36: Direção de escoamento reclassificada sem a hidrografia

Assim os morros passam a ser identificados com depressões, considerando a direção de fluxo invertida, com a utilização do comando *Sink* (Figura 37).

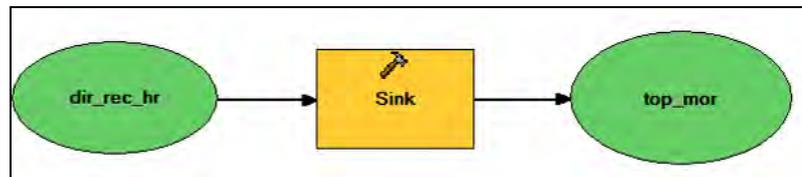


Figura 37: Topo dos morros.

Logo depois, faz-se a determinação da base dos morros, que passam a ser identificados como sendo a área de contribuição drenada por uma depressão (Figura 38).

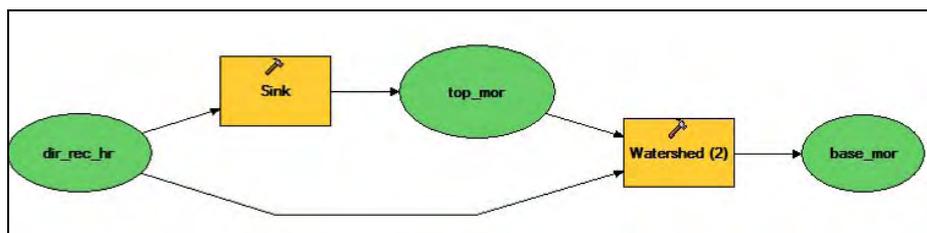


Figura 38: Base dos morros.

Com a utilização da função estatística máximo e mínimo, faz-se a determinação do valores máximo e mínimo dos morros (Figura 39).

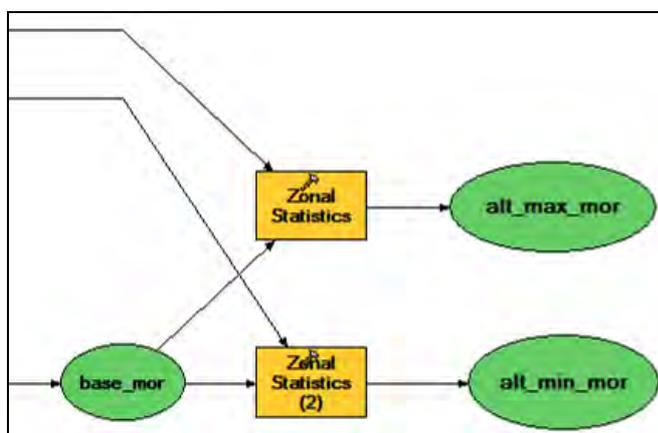


Figura 39: Altitudes máxima e mínima dos morros.

Depois, utilizou-se a função *Minus* que subtrai o valor de duas *raster*, resultando na diferença entre as duas alturas, resultando na altura dos morros (Figura 40).

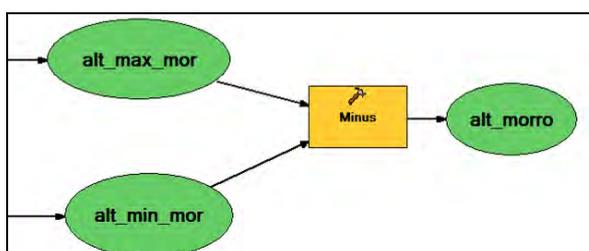


Figura 40: Altura dos morros

Com a altura dos morros, fez-se a determinação dos morros com altura maior que 50 m e abrangendo as montanhas que estão acima dos 300 m, entretanto, para esta finalidade utiliza-se a função *con* para a geração destas áreas (Figura 41).

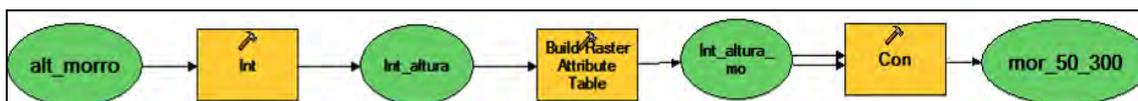


Figura 41: Determinação dos Morros com altura entre 50,0 e 300,0 metros

A declividade da bacia é um grid gerado com base no MDEHC em metros e convertido em valores inteiros (Figura 42).



Figura 42: Declividade da bacia em valores inteiros

Entretanto, os grids morro\_50\_300 e decl\_bacia foram transformados de Float Point para Integer com os nomes de zona\_50\_300\_FP e decl\_bac\_int, respectivamente.

O cálculo da altitude máxima e mínima foram realizados utilizando a função *Zonal Statistics* (Figura 43), que calcula estatísticas nos valores de uma raster dentro das zonas de outro conjunto de dados. O grid zona\_50\_300\_FP é o conjunto de dados que definem as zonas. A raster decl\_bac\_int contém os valores de declividade para calcular as estatísticas de máxima e mínima.

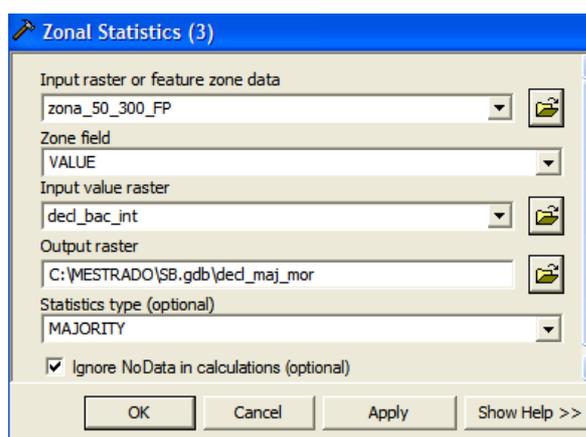


Figura 43: Função *Zonal Statistics*.

Nesta passagem, o mapa assume, em cada célula de saída, o maior valor (o valor que aparece na maioria das vezes), de todas as células do grid que pertencem à mesma zona como a célula de saída. As zonas são identificadas pelos valores das células no grid de entrada (Figura 44).

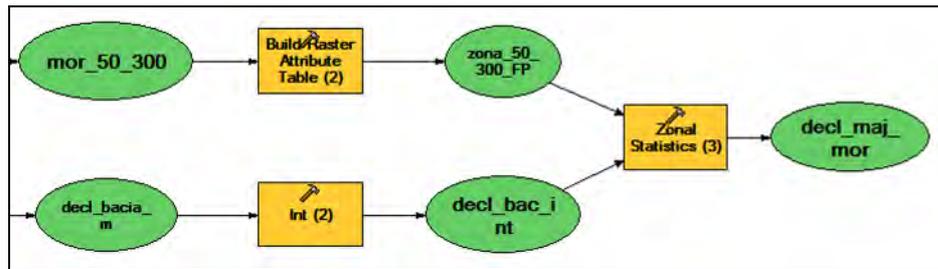


Figura 44: Declividade majoritária de cada morro.

Quanto à condição “declividade superior a 17°” disposta na lei, usada para a caracterização do morro, a simples existência da mesma, em uma elevação, com diferença de nível entre 50 e 300 metros, foi suficiente para classificar a elevação como morro, utilizando a função *con* utilizando o valor maior ou igual a 17° no caso do mapa de declividade estar em graus (Figura 45).

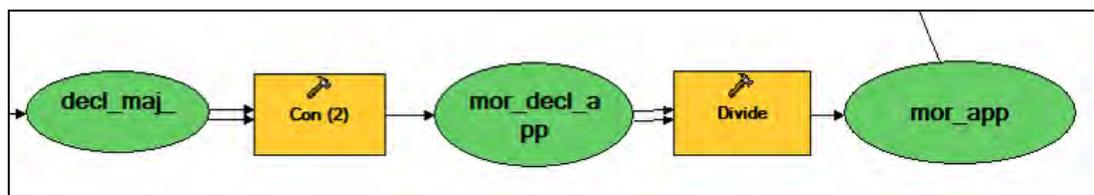


Figura 45: Morros com declividade na encosta superior a 17° ou 30%.

Gerando o *grid* dos morros (*morros\_app\_1*) com valores de altitude para cada célula, multiplicando os morros com declividade com o MDEHC (Figura 46).

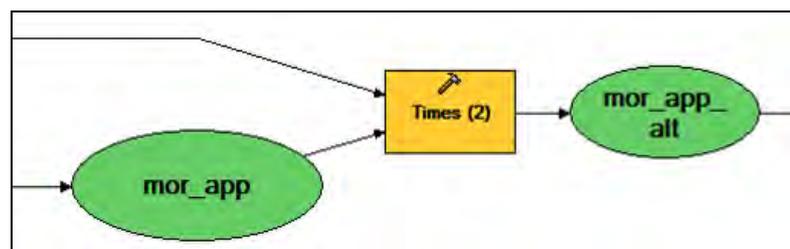


Figura 46: Morros de declividade com valores

Para cada célula do morro foi calculado a relação entre a sua altura e a altura do topo do morro em relação a base. Desta forma foram identificadas todas as células cuja relação foi igual ou superior a 2/3, o que corresponde às áreas de APPs (Figura 47).

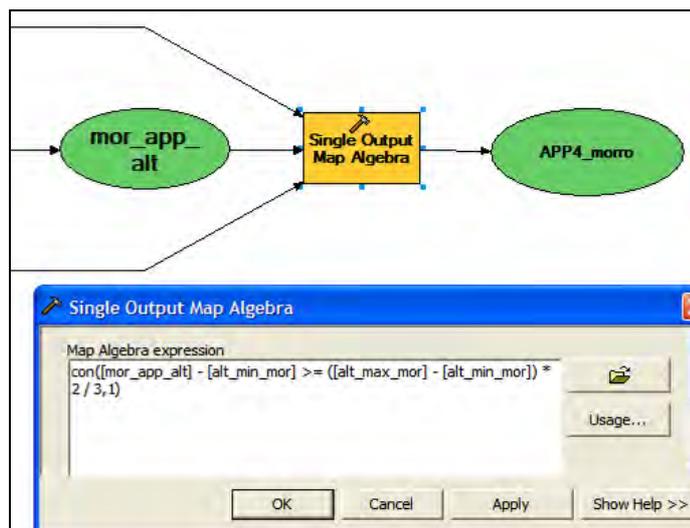


Figura 47: Áreas de Preservação Permanente em topo de morros e montanhas.

## APP6 - Linha de cumeada

Para obtenção da linha de cumeada (APP6), necessitou da geração de *grids* intermediários até a delimitação das áreas.

O processo inicia-se com a hidrografia contendo a altitude das células, completando com a bacia de contribuição para cada célula da hidrografia.

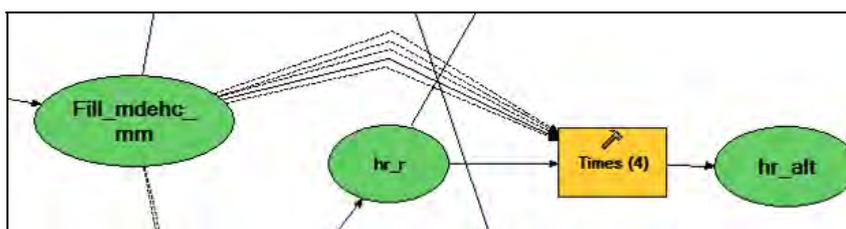


Figura 48: Hidrografia contendo a altitude das células

Uma das chaves para derivar características hidrológicas sobre uma superfície é a capacidade de determinar a direção do fluxo de cada célula no raster. Isto é feito com a função de direção de fluxo *Flowdirection* utilizando como base para entrada o MDEHC (Figura 49).

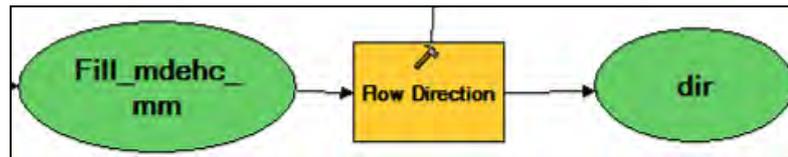


Figura 49: Direção do fluxo

Assim, faz-se a determinação de cada sub-bacia será identificada como sendo a área de contribuição de cada segmento da hidrografia (Figura 50).

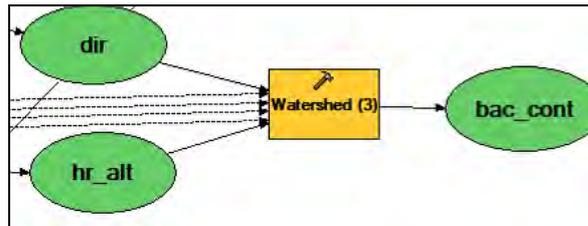


Figura 50: Bacia de contribuição para cada célula da hidrografia

A função Stream Link atribui valores únicos entre as interseções para as seções de uma *raster* de rede linear. Une todos os segmentos da hidrografia. A *raster* hr\_r representa a rede linear do fluxo; a *raster* “dir” registra a direção do fluxo de saída de cada célula e a *raster* hr\_link é a *raster* de saída (união de todos dos segmentos fluxo) (Figura 51).

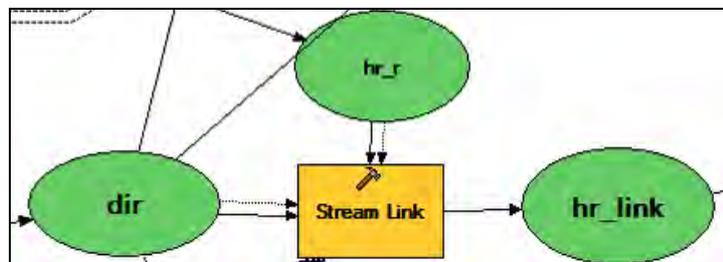


Figura 51: Hidrografia segmentada.

A divisão de cada sub-bacia será identificada como sendo a área de contribuição de cada segmento da hidrografia (Figura 52).

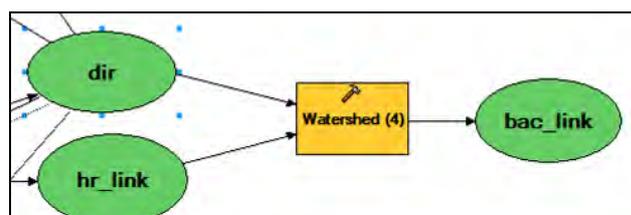


Figura 52: Sub-bacias.

As linhas de cumeada constituem uma sequência de elevações, podendo ser analisadas pela ótica do topo de morro. A cumeada também pode ser entendida como cristas importantes existentes no relevo, resultando em maiores valores de altitude de acordo com a condicionante que a direção de fluxo recebera os valores de altitudes (Figura 53).

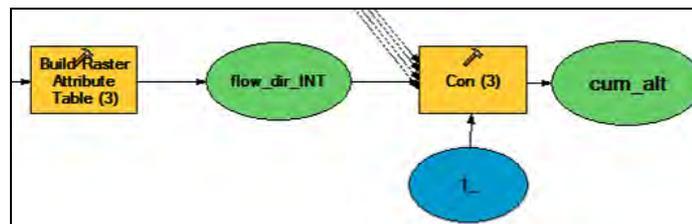


Figura 53: Linhas de cumeada contendo a altitude das células

Novamente tem-se a função Set Null (Figura 54) que retorna valores *NoData* se a condição de cálculo é verdadeira e retorna valores específicos para outra *raster* se a condição é falsa. Esta função vai atribuir valores um para a direção de fluxo e *NoData* para os demais valores da *raster* hr\_r, resultando na *raster* dir\_rec\_hr.

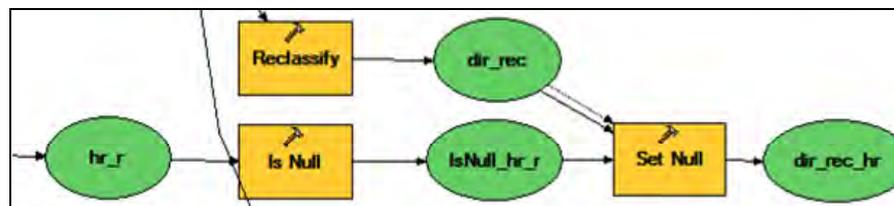


Figura 54: Direção de escoamento sem a hidrografia.

A borda da bacia será identificada como sendo a área de contribuição de cada célula, da borda para o segmento da hidrografia (Figura 55).

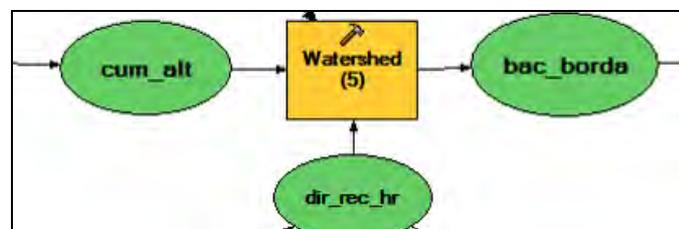
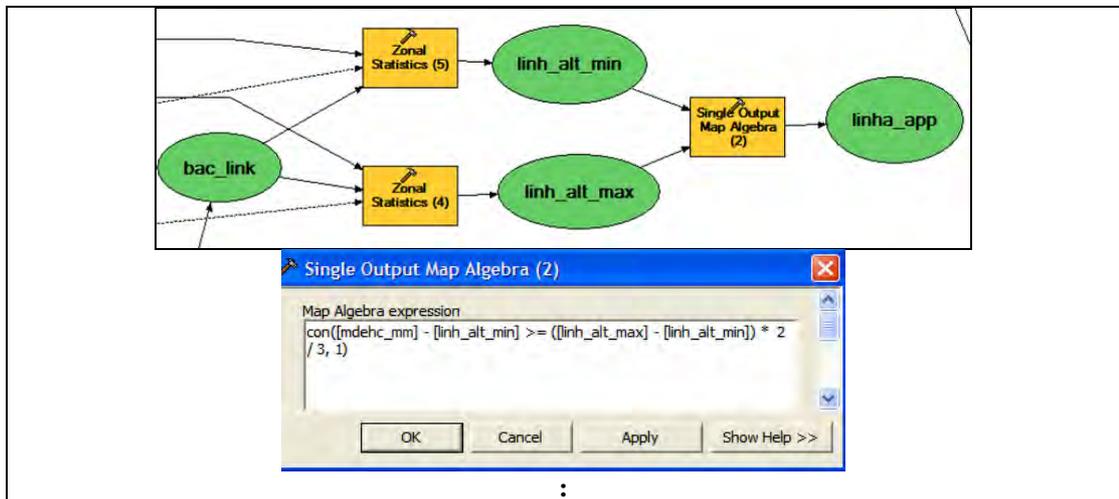


Figura 55: Bacia de contribuição para cada célula da borda.

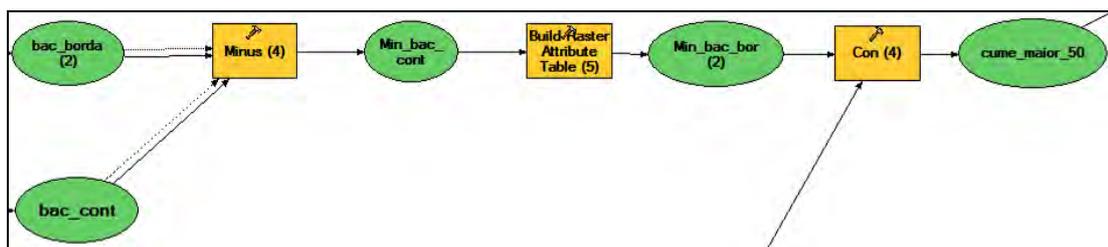
A função *Zonal Statistics* calcula estatísticas nos valores de uma *raster* dentro das zonas de outro conjunto de dados. A *raster* bac\_link é o conjunto de dados que definem as zonas, cada zona é definida pelo campo valor desta *raster*. A *raster*

**mdehc\_mm** contém os valores para calcular a estatística, assim a *raster* de saída **inh\_alt\_max** ou **inh\_alt\_min** contém a estatística de máximo e mínimo respectivamente, que determina o maior e menor valor de todas as células da *raster* **bac\_link** que pertence a mesma zona como a célula de saída (Figura 56).



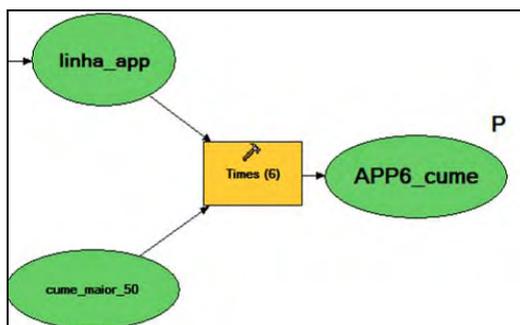
**Figura 56: Processo de identificação do terço superior das linhas de cumeada da bacia hidrográfica**

Em relação ao mapeamento dessas elevações e, conseqüentemente, à determinação dos topos e bases, ou seja, dos elementos constituintes da linha de cumeada, foi adotado o método de derivação numérica, embora exista carência quanto à definição da escala de mapeamento para essas linhas (Figura 57).



**Figura 57: Linhas de cumeada com altura maior que 50,0 metros**

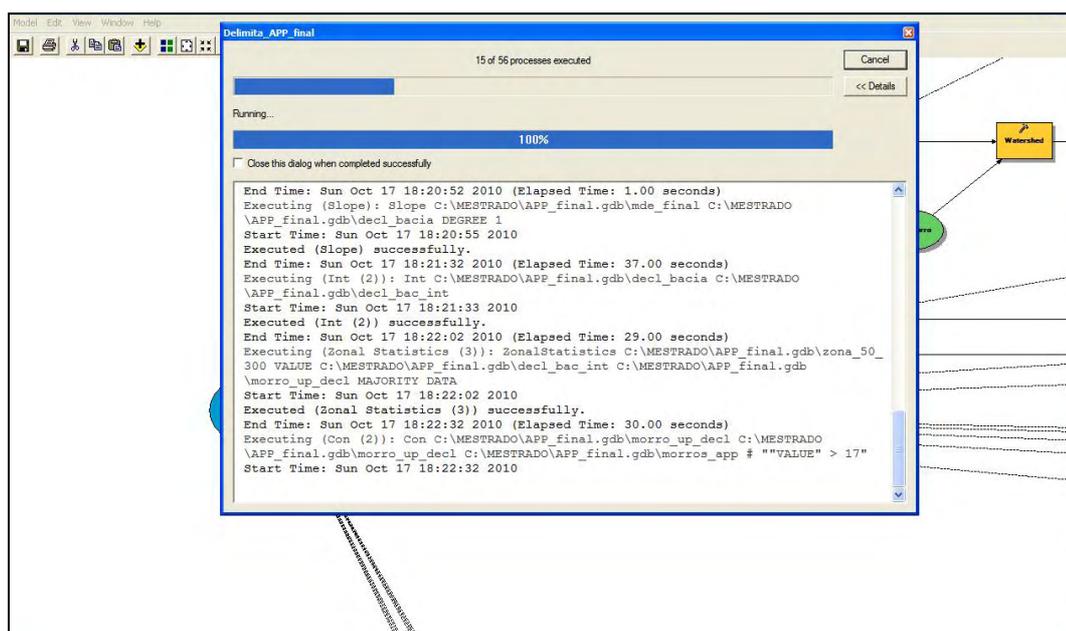
O procedimento é executado para todos os divisores d'água da área de estudos, obtendo-se, ao final, um *grid* com as áreas de proteção ao longo das linhas de cumeada (Figura 58).



**Figura 58: Áreas de Preservação Permanente em linhas de cumeada**

O mapa da Área de Preservação Permanente total (APP\_total) foi obtido através da superposição dos mapas APP1, APP2, APP3, APP4, APP5, e APP6.

Após estes comandos, podemos ver o processamento dos comandos supracitados dentro do *ModelBuilder* conforme figura seguinte, ao termino da modelagem e construção do fluxograma de geração das Apps (Figura 59).



**Figura 59: Processamento das funções.**

## ANEXO A

### RESOLUÇÃO CONAMA Nº 303, DE 20 DE MARÇO DE 2002

Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto nas Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e o seu Regimento Interno, e

Considerando a função sócio-ambiental da propriedade prevista nos arts. 5º, inciso XXIII, 170, inciso VI, 182, § 2º, 186, inciso II e 225 da Constituição e os princípios da prevenção, da precaução e do poluidor-pagador;

Considerando a necessidade de regulamentar o art. 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no que concerne às Áreas de Preservação Permanente;

Considerando as responsabilidades assumidas pelo Brasil por força da Convenção da Biodiversidade, de 1992, da Convenção Ramsar, de 1971 e da Convenção de Washington, de 1940, bem como os compromissos derivados da Declaração do Rio de Janeiro, de 1992;

Considerando que as Áreas de Preservação Permanente e outros espaços territoriais especialmente protegidos, como instrumentos de relevante interesse ambiental, integram o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações, resolve:

Art. 1º Constitui objeto da presente Resolução o estabelecimento de parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente;

II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

III - vereda: espaço brejoso ou encharcado, que contém nascentes ou cabeceiras de cursos d'água, onde há ocorrência de solos hidromórficos, caracterizado predominantemente por renques de buritis do brejo (*Mauritia flexuosa*) e outras formas de vegetação típica;

IV - morro: elevação do terreno com cota do topo em relação a base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

V - montanha: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros;

VI - base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;

VII - linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas;

VIII - restinga: depósito arenoso paralelo a linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, também consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do substrato do que do clima. A cobertura vegetal nas restingas ocorrem mosaico, e encontra-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivos e abóreo, este último mais interiorizado;

IX - manguezal: ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência flúvio-marinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Amapá e Santa Catarina;

X - duna: unidade geomorfológica de constituição predominante arenosa, com aparência de cômodo ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação;

XI - tabuleiro ou chapada: paisagem de topografia plana, com declividade média inferior a dez por cento, aproximadamente seis graus e superfície superior a dez hectares, terminada de forma abrupta em escarpa, caracterizando-se a chapada por grandes superfícies a mais de seiscentos metros de altitude;

XII - escarpa: rampa de terrenos com inclinação igual ou superior a quarenta e cinco graus, que delimitam relevos de tabuleiros, chapadas e planalto, estando limitada no topo pela ruptura positiva de declividade (linha de escarpa) e no sopé por ruptura negativa de declividade, englobando os depósitos de colúvio que localizam-se próximo ao sopé da escarpa;

XIII - área urbana consolidada: aquela que atende aos seguintes critérios:

a) definição legal pelo poder público;

b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana:

- 1 malha viária com canalização de águas pluviais,
- 2 rede de abastecimento de água;
- 3 rede de esgoto;
- 4 distribuição de energia elétrica e iluminação pública ;
- 5 recolhimento de resíduos sólidos urbanos;
- 6 tratamento de resíduos sólidos urbanos; e

c) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km<sup>2</sup>.

Art. 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

- a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura;
- b) cinquenta metros, para o curso d'água com dez a cinquenta metros de largura;
- c) cem metros, para o curso d'água com cinquenta a duzentos metros de largura;
- d) duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;
- e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura;

II - ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;

III - ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de:

- a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas;
- b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinquenta metros;

IV - em vereda e em faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de cinquenta metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado;

V - no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base;

VI - nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros;

VII - em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive;

VIII - nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa;

IX - nas restingas:

- a) em faixa mínima de trezentos metros, medidos a partir da linha de

preamar máxima;

b) em qualquer localização ou extensão, quando recoberta por vegetação com função fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues;

X - em manguezal, em toda a sua extensão;

XI - em duna;

XII - em altitude superior a mil e oitocentos metros, ou, em Estados que não tenham tais elevações, à critério do órgão ambiental competente;

XIII - nos locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias;

XIV - nos locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçadas de extinção que constem de lista elaborada pelo Poder Público Federal, Estadual ou Municipal;

XV - nas praias, em locais de nidificação e reprodução da fauna silvestre.

Parágrafo único. Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangerá o conjunto de morros ou montanhas, delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha de menor altura do conjunto, aplicando-se o que segue:

I - agrupam-se os morros ou montanhas cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos;

II - identifica-se o menor morro ou montanha;

III - traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços deste; e

IV - considera-se de preservação permanente toda a área acima deste nível.

Art. 4º O CONAMA estabelecerá, em Resolução específica, parâmetros das Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso de seu entorno.

Art. 5º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogando-se a Resolução CONAMA 004, de 18 de setembro de 1985.