

**Método para determinação automática de Áreas de Preservação Permanente em topo de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento**

## **República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*

Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Roberto Rodrigues*

Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**

### **Conselho de Administração**

*Luís Carlos Guedes Pinto*

Presidente

*Clayton Campanhola*

Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*

*Ernesto Paterniani*

*Hélio Tollini*

*Marcelo Barbosa Saintive*

Membros

## **Diretoria-Executiva da Embrapa**

*Clayton Campanhola*

Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*

*Herbert Cavalcante de Lima*

*Mariza Marilena T. Luz Barbosa*

Diretores-Executivos

## **Embrapa Monitoramento por Satélite**

*Ademar Ribeiro Romeiro*

Chefe-Geral

*Luís Gonzaga Alves de Souza*

Chefe-Adjunto de Administração

*Ivo Pierozzi Júnior*

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Evaristo Eduardo de Miranda*

Supervisor da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Monitoramento por Satélite  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 0103-78110  
Novembro, 2004*

# ***Documentos 34***

**Método para determinação automática de  
Áreas de Preservação Permanente em  
topo de morros para o Estado de São  
Paulo, com base em geoprocessamento**

Marcos Cicarini Hott  
Marcelo Guimarães  
Evaristo Eduardo de Miranda

Campinas-SP  
2004

Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 34

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 - Parque São Quirino

CEP 13088-300 Campinas, SP – BRASIL

Caixa Postal 491, CEP 13001-970

Fone: (19) 3256-6030

Fax: (19) 3254-1100

[sac@cnpm.embrapa.br](mailto:sac@cnpm.embrapa.br)

<http://www.cnpm.embrapa.br>

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Ivo Pierozzi Júnior*

Secretária: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Ana Lúcia Filardi, Carlos Alberto de Carvalho, Eliane Gonçalves Gomes, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Maria de Cléofas Faggion Alencar, Mateus Batistella*

Supervisão editorial e revisão do conteúdo: *José Roberto Miranda*

Revisão gramatical e ortográfica: *Ivo Pierozzi Jr., Eliane Gonçalves Gomes, Maria de Cléofas Faggion Alencar, Mateus Batistella*

Normalização bibliográfica: *Maria de Cléofas Faggion Alencar*

Diagramação e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva e Tercila Bannwart de Moraes*

**1ª edição**

1ª impressão (2004): 50 exemplares

Fotos: Arquivo da Unidade

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

Hott, Marcos Cicarini

Método para determinação automática de Áreas de Preservação Permanente em topo de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento / Marcos Cicarini Hott, Marcelo Guimarães, Evaristo Eduardo de Miranda. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004.

32 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 34)

ISSN 0103-78110

1. Áreas de Preservação Permanente em Topo de Morros para o Estado de São Paulo, 2. Modelos Digitais de Elevação - SRTM, 3. Sistemas de Informações Geográficas I. Guimarães, Marcelo. II. Miranda, Evaristo Eduardo de. III. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas-SP) IV. Título. V. Série.

CDD 630.28

---

© Embrapa Monitoramento por Satélite, nov. 2004

## **Autores**

**Marcos Cicarini Hott**

Mestre em Ciência Florestal

Embrapa Monitoramento por Satélite

[marcos@cnpm.embrapa.br](mailto:marcos@cnpm.embrapa.br)

**Marcelo Guimarães**

Mestre em Ecologia

Embrapa Monitoramento por Satélite

[marcelo@cnpm.embrapa.br](mailto:marcelo@cnpm.embrapa.br)

**Evaristo Eduardo de Miranda**

Doutor em Ecologia

Embrapa Monitoramento por Satélite

[mir@cnpm.embrapa.br](mailto:mir@cnpm.embrapa.br)



## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. MATERIAL E MÉTODO. ....	12
2.1. Material .....	12
2.1.1. Caracterização da área de estudo .....	12
2.1.2. Materiais Cartográficos e Iconográficos.....	12
2.2. Métodos .....	14
2.2.1. Modelagem Digital de Elevação.....	14
2.2.1.1. Refinamento do MDE do SRTM para o Estado de São Paulo.....	14
2.2.1.2. Geração do MDE para o Município de Campinas.....	15
2.2.2. Disposições da Resolução N° 303 do CONAMA e desenvolvimento do método.....	15
2.2.2.1. Caracterização numérica dos morros e montanhas.....	15
2.2.2.2. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente.....	21
3. RESULTADOS .....	25
3.1. APP em Topo de Morros ou Montanhas e em Linhas de Cumeada para o Estado de São Paulo.....	26
3.2. APP em Topo de Morros ou Montanhas e em Linhas de Cumeada para o Município de Campinas .....	27
4. CONCLUSÕES.....	29
5. REFERÊNCIAS .....	30

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Estado de São Paulo com as principais cidades e rodovias federais..	12
<b>Figura 3</b> - O modelo digital de elevação do SRTM .....	14
<b>Figura 4</b> - Esquema simplificado ilustrando as condições necessárias para classificar uma elevação como morro. ....	16
<b>Figura 5</b> - Esquema simples ilustrando as condições necessárias para classificar uma elevação como montanha .....	16
<b>Figura 6</b> - Visualização tridimensional denotando a delimitação, o topo e a base das elevações com base no escoamento superficial. ....	17
<b>Figura 7</b> - Ilustração indicando como as direções de fluxo são representadas numericamente após sua determinação com o uso do MDE.....	17
<b>Figura 8</b> - Ilustração indicando a dificuldade do uso da hidrografia mapeada como base das elevações, bem como de eventuais “planícies” ou planos adjacentes. ....	18
<b>Figura 9</b> - Visualização tridimensional de uma microbacia hidrográfica de Campinas. ....	20
<b>Figura 10</b> - Representação de uma ramificação hidrográfica e seu ordenamento pelo método de Strahler. ....	20
<b>Figura 11</b> - Esquema ilustrando a aplicação do terço superior a partir do uso do escoamento superficial para derivar o limite, o topo e a base da elevação.	21
<b>Figura 12</b> - Esquema ilustrando a aplicação do terço superior para linhas de cumeada.....	22
<b>Figura 13</b> - Esquema ilustrando o agrupamento das elevações com proximidade inferior a 500 metros e a adoção do terço superior da menor elevação, aumentando a APP se comparada às elevações individuais. ....	23
<b>Figura 14</b> – Método para determinação das APPs em topo de morros.....	24
<b>Figura 15</b> – Seqüência de Grids produzidos para uma região do Município de Campinas. ....	25
<b>Figura 16</b> - Áreas de preservação permanente em topos de morros, montanhas e em linha de cumeadas para o Estado de São Paulo.. ....	26

<b>Figura 17</b> - Visualização 3D das elevações e suas respectivas APPs em topo de morros numa região do município de Campinas .....	27
<b>Figura 18</b> - Áreas de preservação permanente em topos de morros, montanhas e em linha de cumeadas para o município de Campinas.....	28
<b>Figura 19</b> - Áreas de preservação permanente em topos de morros, montanhas e em linha de cumeadas para o município de Campinas.....	28

## **Índice de tabelas**

<b>Tabela 1</b> – Áreas de Preservação Permanente para o Estado de São Paulo.....	26
<b>Tabela 2</b> – Áreas de Preservação Permanente para o município de Campinas-SP .....	27

## **Método para determinação automática de Áreas de Preservação Permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento**

---

*Marcos Cicarini Hott*

*Marcelo Guimarães*

*Evaristo Eduardo de Miranda*

### **1. INTRODUÇÃO**

O Código Florestal (Lei 4.771 de 1965) (Brasil, 1965) dispõe, em seu artigo 2º, sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) em topos de morros, montes, montanhas e serras, sendo vedada a utilização dessas áreas e conseqüente remoção de suas coberturas vegetais originais.

Tema bastante controvertido, a aplicação da “Lei do Topo de Morro”, como é conhecido o dispositivo da Resolução do CONAMA Nº 303, de 20 de março de 2002 (Brasil, 2002), que trata de tal tema, tem causado divergência nos campos jurídico e técnico. Existe uma visível dificuldade em materializar, em termos de mapeamento, as áreas de preservação permanente em topos de morro, montanhas e linhas de cumeada, uma vez que a lei privilegia o reconhecimento em campo. Todavia, considerando um país de dimensões continentais como o Brasil, torna-se importante a caracterização dessas áreas potenciais de preservação permanente em mapas para a orientação das ações de campo, sejam em âmbito regional ou nacional.

No entanto, a delimitação dessas áreas através de métodos analógicos, incluindo a interpretação visual, pode conduzir em subjetividade e está condicionada à experiência do analista. Neste contexto, através da utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital e de técnicas de geoprocessamento, observa-se a necessidade do desenvolvimento de um método para a determinação automática dessas áreas de preservação permanente em topos de morros e montanhas.

Os dados de sensoriamento remoto orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície terrestre através de satélites e seus sensores, e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, entre outros (Crósta, 1993; Miranda *et al.*, 2002). Os sensores medem a radiação refletida e/ou emitidas pelos alvos, sendo passivos se necessitarem de uma fonte de luz externa (e.g., TM do Landsat) e ativos, caso possuam fonte própria de radiação, tais como radares e laser (Moreira, 2001).

Dentre esses sensores ativos, destacam-se os radares de abertura sintética (SAR) com capacidade interferométrica. Através da operação de sensores em bandas específicas, os sinais emitidos interagem com a superfície e são captados pelas antenas separadas em uma distância fixa na plataforma aerotransportada ou espacial (*baseline*). Assim, essa separação dos sistemas de antenas no espaço, com conhecimento das posições relativas das mesmas, permite a geração da topografia (Zyl, 2001).

Algoritmos apropriados derivam por diferença de fase a altitude de cada ponto na superfície (e.g. dossel arbóreo) ou no terreno, dependendo das bandas utilizadas. Com altíssima precisão podem-se obter informações altimétricas com o uso de laser aerotransportado, o qual pode operar em bandas diversas, gerando modelos digitais de elevação, perfis do terreno e de vegetação para estudos complexos como em Pachepsky (1997).

Complementar aos produtos de sensoriamento remoto, os aplicativos e técnicas em geoprocessamento constituem-se em ferramentas importantes para a geração, manipulação, análise e integração de informações espaciais, sobretudo relativas ao meio ambiente, podendo subsidiar o processo de tomada de decisão e orientação de políticas públicas (Guimarães, 1999).

Para o delineamento de APPs em topo de morros e montanhas, alguns esforços foram despendidos em escalas maiores, em nível de microbacia (Ribeiro *et al.*, 2002; Moreira *et al.*, 2003; Schimith *et al.*, 2002), permitindo o avanço de técnicas e sistemas empregados, porém não permitindo extrapolação para grandes áreas devido à inexistência de base de dados nestas escalas para a maior parte do território nacional.

Assim, através da utilização de ferramentas de geoprocessamento, este trabalho propõe um método para delimitação do terço superior do topo de morros e linhas de cumeada para o Estado de São Paulo, compatível com a escala de 1:250.000, no limite da mesma.

Para desenvolvimento e teste desse método, optou-se pelo Estado de São Paulo em função de sua importância nos cenários agrícola e sócio-econômico do país e à variabilidade do relevo ao longo de sua extensão. Tendo o seu relevo representado por "mar de morros", serras como a Serra do Mar e relevos levemente ondulados em sua porção oeste, a área de estudo permite uma boa confrontação com informações georreferenciadas disponíveis em diversos órgãos e instituições de pesquisa, bem como na iniciativa privada.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Caracterização da área de estudo

Localizado na Região Sudeste do Brasil, o Estado de São Paulo (Figura 1) possui uma área de 248.209,42 Km<sup>2</sup>, altitudes entre 0 e 2.770 metros e um relevo diversificado: planície litorânea adjacente à Serra do Mar, e planaltos e depressões formando um relevo ondulado.

A vegetação do Estado é bastante diversificada, apresentando formações de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), Florestas Montanas, Cerrados, Restingas, Dunas e Manguezais.



Figura 1 - O Estado de São Paulo com as principais cidades e rodovias federais.

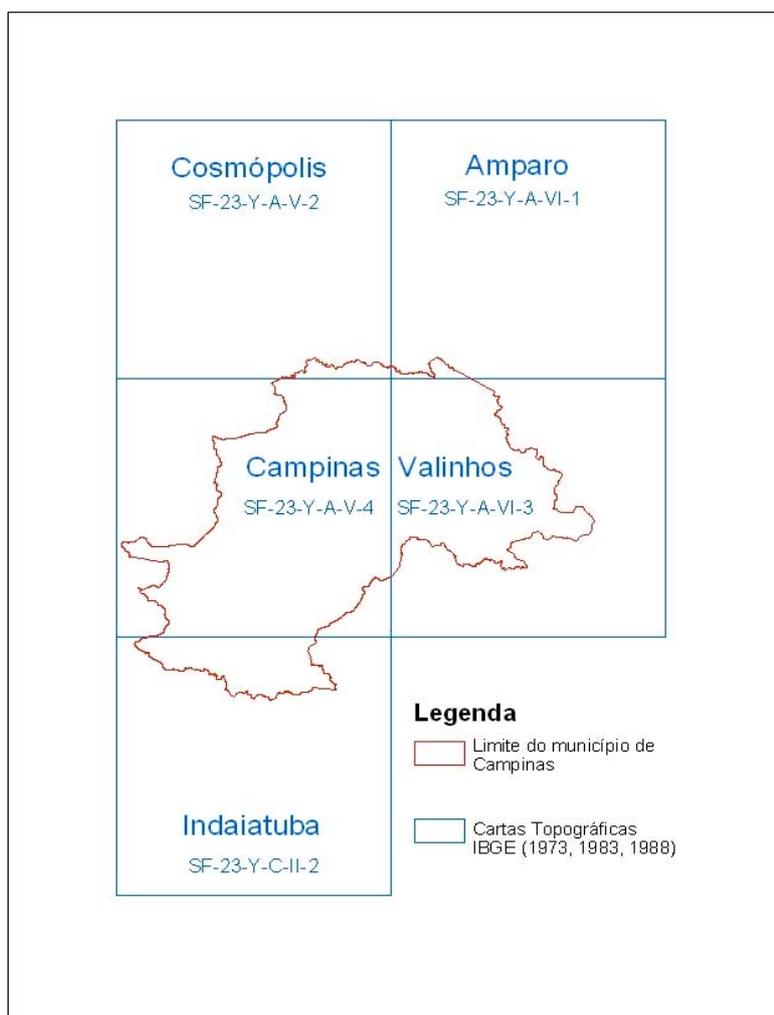
#### 2.1.2. Materiais Cartográficos e Iconográficos

Neste trabalho foram utilizados o SIG (Sistemas de Informações Geográficas) ArcGIS 9.0 (ESRI, 2004) e o modelo digital de elevação (MDE) do Estado de São Paulo como fonte de dados altimétricos, com aproximadamente 90 metros de resolução espacial. Trata-se do MDE originário da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (Agência Espacial e Aeronáutica) e NGA (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial) dos Estados Unidos, sendo executado no ano 2000. Os dados obtidos pelo mapeamento foram disponibilizados pelo USGS Eros Data Center (Centro de Dados do Departamento de Levantamento Geológico dos Estados Unidos).

Esse MDE, gerado por interferometria na banda X, fornece uma confiabilidade vertical de 90%, concluindo-se que algumas elevações poderão ser excluídas em uma classificação de morros ou montanhas. O MDE também demanda correção quanto aos pontos desprovidos de informação altimétrica.

Para a determinação das APPs do Município de Campinas foi gerado um MDE com 20 metros de resolução espacial, a partir de curvas de nível vetorizadas das Cartas Topográficas do IBGE (Figura 2), em escala 1:50.000, listadas abaixo:

- Folha Campinas (SF-23-Y-A-V-4) (IBGE, 1973);
- Folha Amparo (SF-23-Y-A-VI-1) (IBGE, 1983);
- Folha Indaiatuba (SF-23-Y-C-II-2) (IBGE, 1973);
- Folha Valinhos (SF-23-Y-A-VI-3) (IBGE, 1988);
- Folha Cosmópolis (SF-23-Y-A-V-2) (IBGE, 1988).



**Figura 2** - Articulação das Cartas Topográficas do IBGE, em escala de 1:50.000, correspondentes ao Município de Campinas

## 2.2. Método

Para o desenvolvimento do método em questão, 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 (SIGs) e modelagem digital de elevação.

### 2.2.1. Modelagem Digital de Elevação

Foram usados modelos matriciais oriundos de interferometria para o Estado de São Paulo e de interpolação a partir de curvas de nível, para o município de Campinas. Ambos foram devidamente refinados para que pudessem ser utilizados neste trabalho.

O modelo interferométrico utilizado não se refere ao MDE do SRTM com altimetria corrigida por interpolação; portanto, a interferência no modelo passou pela execução de projeção e preenchimento numérico de depressões espúrias e valores nulos do MDE fornecidos sem correção.

#### 2.2.1.1. Refinamento do MDE do SRTM para o Estado de São Paulo

Inicialmente, foram selecionados os dados altimétricos derivados do SRTM, em formato matricial para o Estado de São Paulo, com resolução espacial aproximada de 90 metros e projetado para o sistema UTM fuso 23, meridiano central 45° SO, Datum SAD 69, de acordo com a extensão territorial admissível para tal sistema.

A resolução do MDE (Modelo Digital de Elevação) utilizado para a escala de 1:250.000, apesar de próxima do limite, não afetou os resultados, pois 90 metros representa bem o relevo para esta escala.

Em função da existência de valores nulos no modelo original do SRTM, bem como de depressões espúrias, houve a necessidade da realização de um refinamento por meio de comando específico no SIG, conforme mostrado na Figura 3.

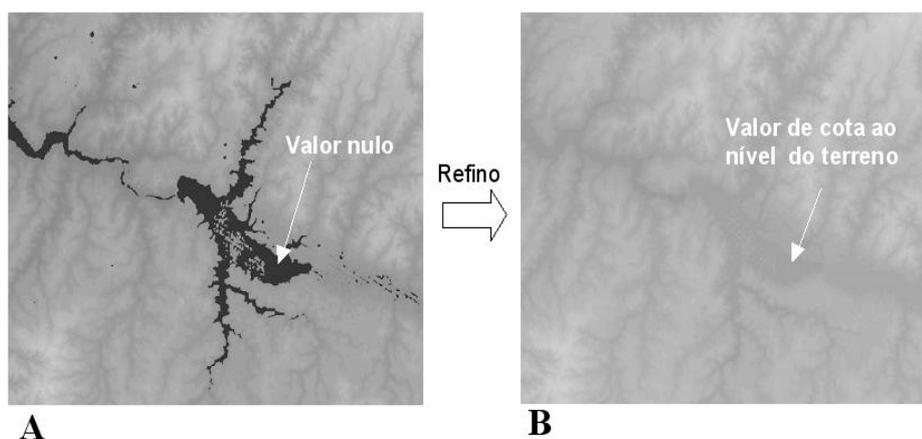


Figura 3 - O modelo digital de elevação do SRTM antes da etapa de refinamento (imagem A) e após a correção (imagem B).

### **2.2.1.2. Geração do MDE para o Município de Campinas**

A partir da altimetria vetorial, obtida das cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, foi gerado MDE com resolução espacial de 20 metros.

A resolução espacial usada para a geração do modelo digital de elevação de Campinas permitiu uma boa representação do relevo na escala de 1:50.000, muito embora considerando-se a máxima precisão possível para essa escala (2 décimos de milímetro no mapa) o tamanho ideal do pixel deveria ser 10 metros.

A definição do tamanho de pixel esteve associada à necessidade de se estabelecer um patamar de escalonamento com os resultados para o Estado de São Paulo. Visto que, o tamanho de pixel ideal para o MDE, compatível com a escala de 1:250.000, seria de 50 metros. No entanto, a resolução espacial disponível com o uso do SRTM foi de aproximadamente 90 metros.

### **2.2.2. Disposições da Resolução N° 303 do CONAMA e desenvolvimento do método**

A aplicação da legislação, com o uso de geoprocessamento, passa pela correta compreensão da mesma, além da plena utilização dos recursos disponíveis no SIG.

O método usado para a obtenção das APPs, em topo de morros ou montanhas, foi o mesmo para o Estado de São Paulo e para o município de Campinas. No caso das APPs em linhas de cumeada, aplicou-se apenas ao Estado de São Paulo devido aos critérios adotados para áreas extensas.

#### **2.2.2.1. Caracterização numérica dos morros e montanhas**

O terço superior foi determinado para o conjunto de dados SRTM, com base nas seguintes definições do Art. 2º da resolução do CONAMA (Brasil, 2002):

*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 (Figura 4);*

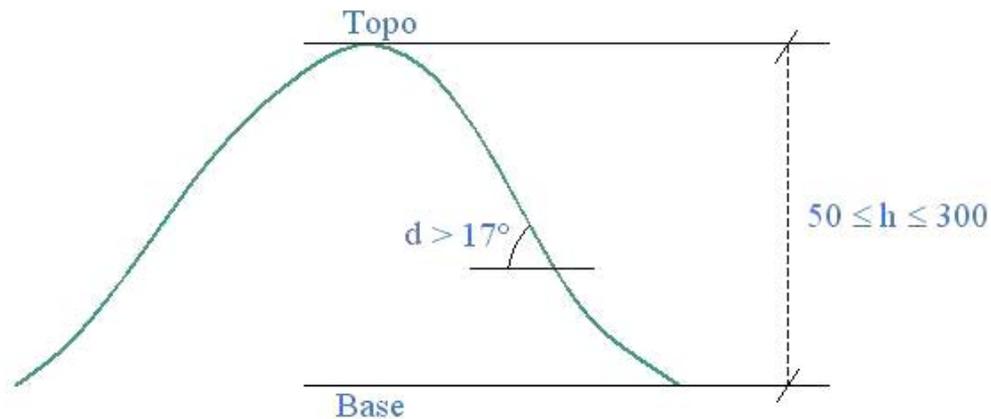


Figura 4 - Esquema simplificado ilustrando as condições necessárias para classificar uma elevação como morro ( $h$  = altura;  $d$  = declividade).

**V - *montanha***: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros (Figura 5);

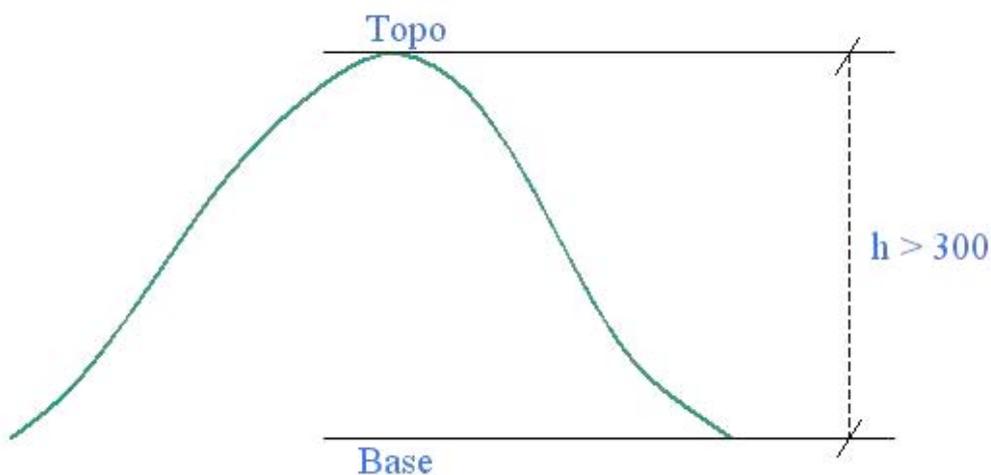
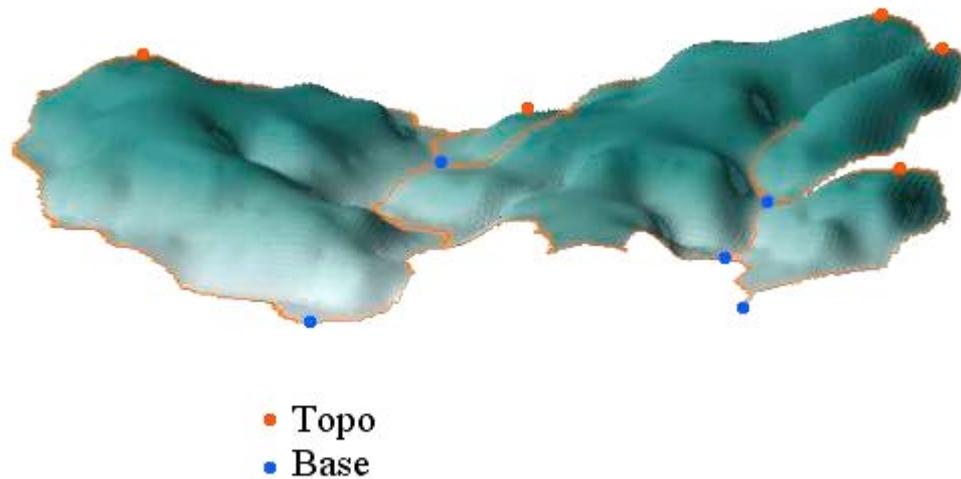


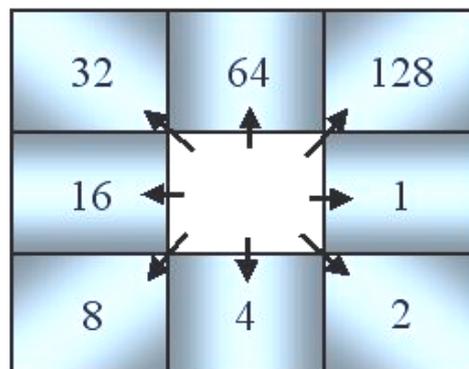
Figura 5 - Esquema simples ilustrando as condições necessárias para classificar uma elevação como montanha ( $h$  = altura).

**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 (Figura 6);



**Figura 6** - Visualização tridimensional denotando a delimitação, o topo e a base das elevações com base no escoamento superficial.

**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 (Figura 7);



Modelo de fluxo D8

**Figura 7** - Ilustração indicando como as direções de fluxo são representadas numericamente após sua determinação com o uso do MDE. As maiores diferenças de nível no terreno e declividades ao redor do pixel central resultarão na direção de fluxo que será atribuída ao pixel central, por meio do código numérico representado na figura.

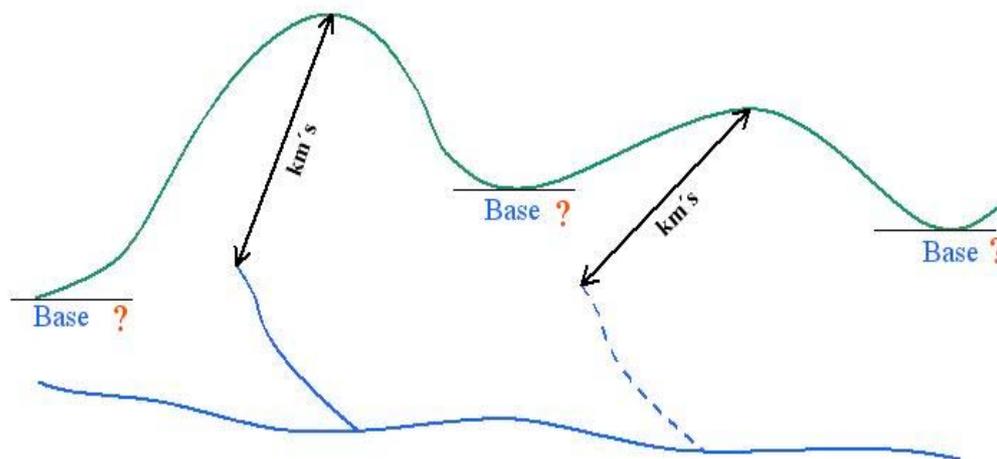
Os morros ou montanhas são elementos da paisagem caracterizados por seus cumes (“pontos de máximo”), facilmente identificáveis visualmente. Quanto à delimitação pertinente aos mesmos, também consegue-se, mentalmente, distinguí-la através da observação de vales (“pontos de mínimo” ou linhas de fratura) entre as ondulações que precedem o soerguimento dos morros ou montanhas.

No sistema digital, o fluxo superficial oriundo de cada cume é usado para individualizar a elevação e definir sua base, bem como o seu terço superior.

A base do morro é um elemento de difícil determinação, pois normalmente não é um elemento euclidiano formado por uma reta e, sim, por uma estrutura bastante irregular, apresentando uma drenagem marcante e característica.

A rede de drenagem numérica é formada em um MDE pelo fluxo superficial, derivado através do modelo D8, utilizado pelo SIG ArcGIS 9 (Figura 7), no qual a direção resultante numa vizinhança 3 x 3 é atribuída ao pixel central e, assim, as conformações dessas direções materializam os vales existentes entre as elevações, delimitando-as e expressando as bases irregulares.

Dessa forma, a base da elevação poderá ser determinada como a cota da depressão mais baixa ao redor da mesma (Figura 5), não usando a hidrografia mapeada para esta determinação. O uso de hidrografia mapeada por um método automático se torna difícil, pois demandaria atualização e muitas vezes, considerando escalas como 1:250.000, o tributário mais próximo a uma elevação se encontraria há quilômetros de distância (Figura 8).



**Figura 8** - Ilustração indicando a dificuldade do uso da hidrografia mapeada como base das elevações, bem como de eventuais “planícies” ou planos adjacentes. A linha tracejada indica um possível tributário mapeado inexistente e que, eventualmente, poderia ser usado na análise, ocasionando em erros.

A consideração de planícies ou planos, adjacentes às elevações como base esbarra na existência de vários planos ao redor da elevação, conduzindo à subjetividade e à dificuldade de individualizar uma elevação.

O uso do escoamento superficial como ferramenta para a delimitação de uma elevação, resolve a questão desta individualização do morro e do mapeamento do topo do morro e da base (Figura 6), considerando a elevação como uma superfície contínua, desprovida de “pontos de mínimo” em seu interior, mas delimitada por sequências dos mesmos, formando linhas de fratura.

Na Figura 6, observa-se que as linhas na cor laranja circundam as elevações. Ondulações que iniciam-se em inflexões não resultam em novas elevações, mas apenas as ondulações que formam um topo isolado, a partir do encontro de fluxos descendentes.

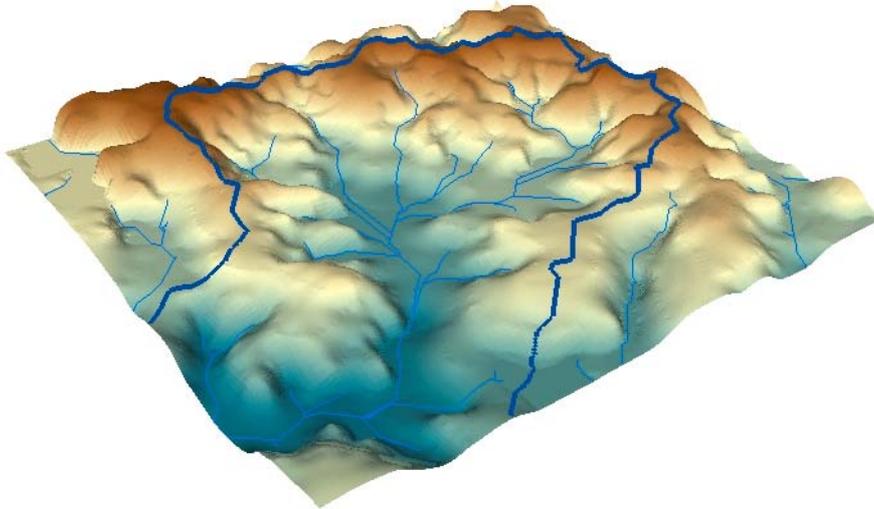
A base do morro se concretiza quando determina-se a menor altitude presente na área mapeada da elevação, o que estaria de acordo com a legislação vigente.

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.

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, conduzindo a um trabalho minucioso de investigação em mapa ou em campo, resultando em subjetividade.

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.

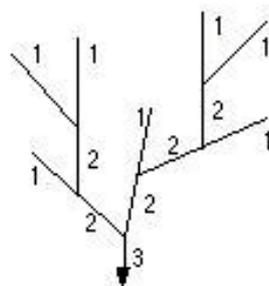
Considerando-se que a linha de cumeada é uma feição virtual (Figura 9) que na realidade é representada pelos divisores de águas numa bacia hidrográfica, a definição da ordem da bacia que será abordada foi o princípio para desenvolvimento do respectivo método.



**Figura 9** - Visualização tridimensional de uma microbacia hidrográfica de Campinas. As linhas azuis escuras representam os divisores d'água ou linhas de cumeadas.

Neste sentido, o ordenamento de bacias hidrográficas caracteriza-se também por certa complexidade devido à coexistência de cursos d'água de ordem inferior e superior.

Assim, embora o foco deste trabalho tenha sido a determinação do terço superior em morros e montanhas, também foi proposto um método de determinação de APPs, em linhas de cumeada, baseado na ocorrência de hidrografia mapeada em ordem 3, conforme o método de Strahler (Figura 10), descrito na próxima seção.



Ordenamento de Strahler

**Figura 10** - Representação de uma ramificação hidrográfica e seu ordenamento pelo método de Strahler. Os números indicam a ordem dos rios.

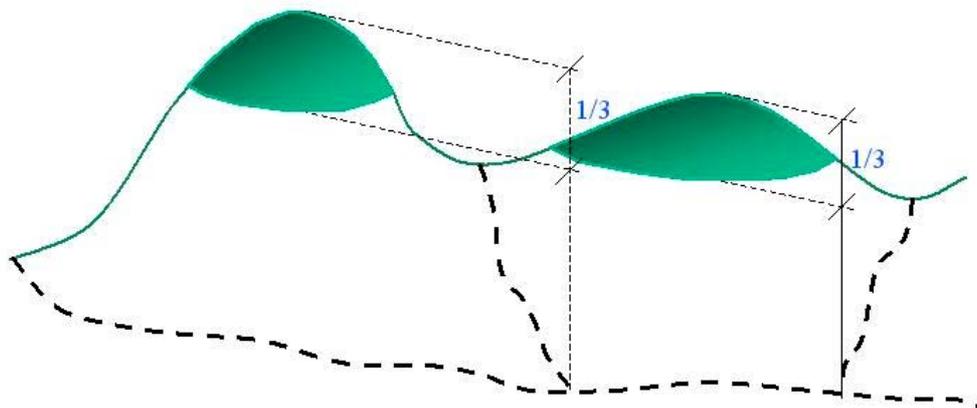
Após os procedimentos de refinamento do modelo digital SRTM para o Estado de São Paulo, gerou-se a direção de escoamento e, em seguida, delimitou-se as bacias presentes no conjunto de dados.

As bacias foram geradas para toda a continuidade de fluxo encontrada, ou seja, para todo fluxo conectado. Onde existiam direções contrárias adjacentes formaram-se os divisores d'água.

#### 2.2.2.2. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente

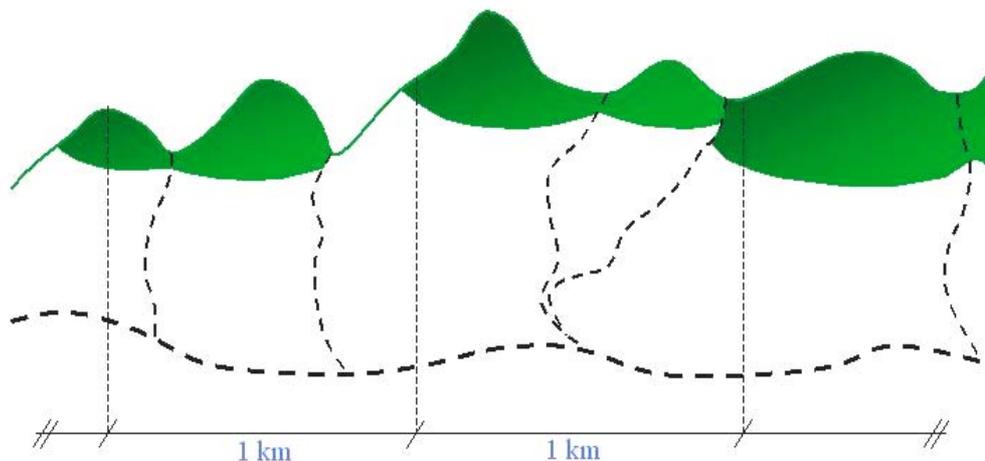
Para a determinação das APPs, seguiu-se as disposições do Art. 3º da resolução do CONAMA (Brasil, 2002), descritas abaixo:

*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 à base (Figura 11);*



**Figura 11** - Esquema ilustrando a aplicação do terço superior a partir do uso do escoamento superficial para derivar o limite, o topo e a base da elevação.

*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 (Figura 12);*



**Figura 12** - Esquema ilustrando a aplicação do terço superior para linhas de cumeada na qual, para cada segmento de 1 km, define-se a menor elevação e aplica-se o terço da mesma para todas as elevações dentro deste segmento.

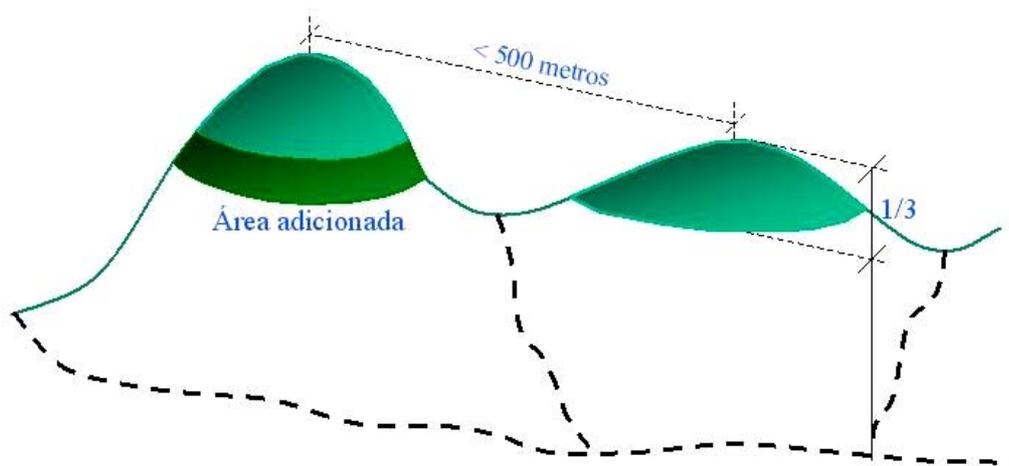
*Parágrafo único. Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangerá o conjunto de morros ou montanhas, delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da 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 (Figura 13).*



**Figura 13** - Esquema ilustrando o agrupamento das elevações com proximidade inferior a 500 metros e a adoção do terço superior da menor elevação, aumentando a APP se comparada às elevações individuais.

O método desenvolvido, baseado em geoprocessamento, aplicou rigorosamente a legislação e adotou um critério na delimitação das elevações por meio do fluxo numérico presente na superfície modelada digitalmente. A identificação e caracterização das elevações através de meios numéricos no SIG permitiram a obtenção de informações concernentes aos termos legais e também a padronização dos resultados.

A partir da obtenção dos elementos necessários (topo e base) e de sua organização mediante à resolução, fez-se a determinação das APPs em topo de morros ou montanhas e em linhas de cumeada para o Estado de São Paulo. As áreas delimitadas caracterizam-se pelo seu caráter potencial, não indicando que estejam, de fato, recobertas por vegetação nativa.

A determinação do terço superior em linhas de cumeada tem forte correlação metodológica com a APP em topo de morro, podendo ser usada para as elevações da cumeada. Todavia, deve-se adotar um critério para a definição dos divisores de águas a serem considerados.

Para todo o Estado de São Paulo, foram selecionadas as cumeadas que dividem grandes bacias hidrográficas, mapeada a partir da ordem 3 em relação à escala 1:250.000, com o intuito de proteger cabeceiras importantes.

O método e o critério adotado para APP em linha de cumeada foram propostos mediante a observação da escala de trabalho e das disposições da resolução do CONAMA, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada, equivalente a mil metros, e tomando-se por base o pico mais baixo da cumeada.

Com o objetivo de observar o escalonamento dessas APPs, em função do aumento da escala, e efetuar uma comparação entre as áreas derivadas de

escalas diferentes, também foi gerado o terço superior em topo de morros para o Município de Campinas – SP, a partir de dados altimétricos, oriundos da cartografia em escala 1:50.000.

Na Figura 14, está representada a seqüência de operações do método desenvolvido para determinação das APPs em topo de morros e montanhas para o Estado de São Paulo e Município de Campinas.

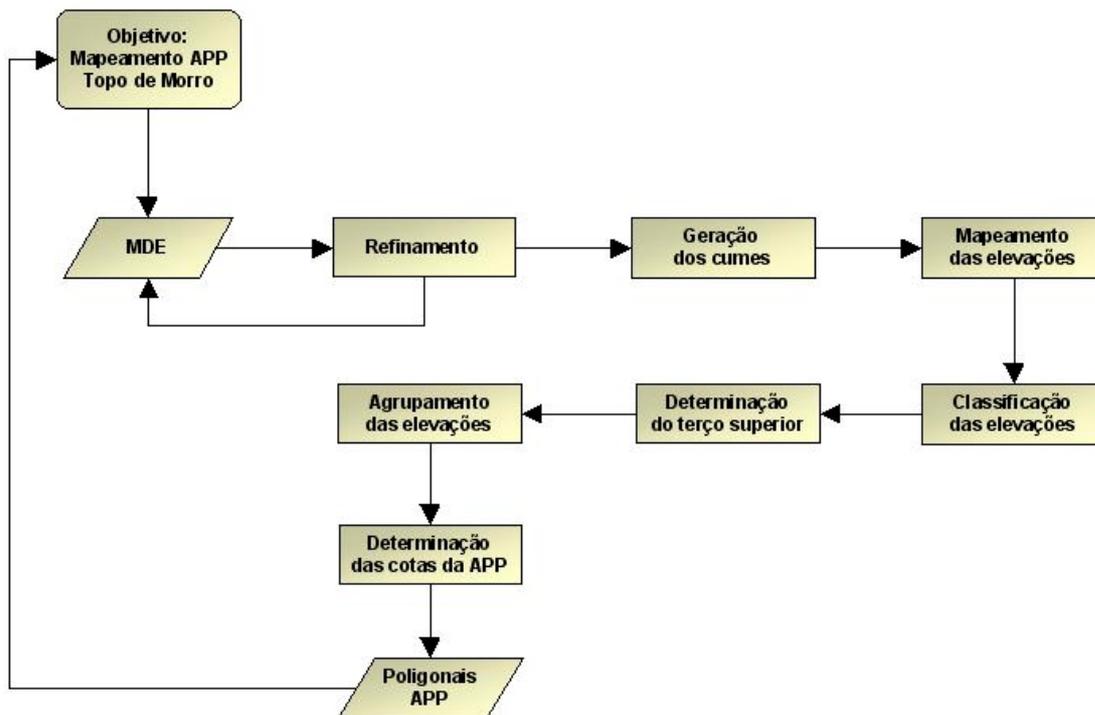


Figura 14 – Método para determinação das APPs em topo de morros

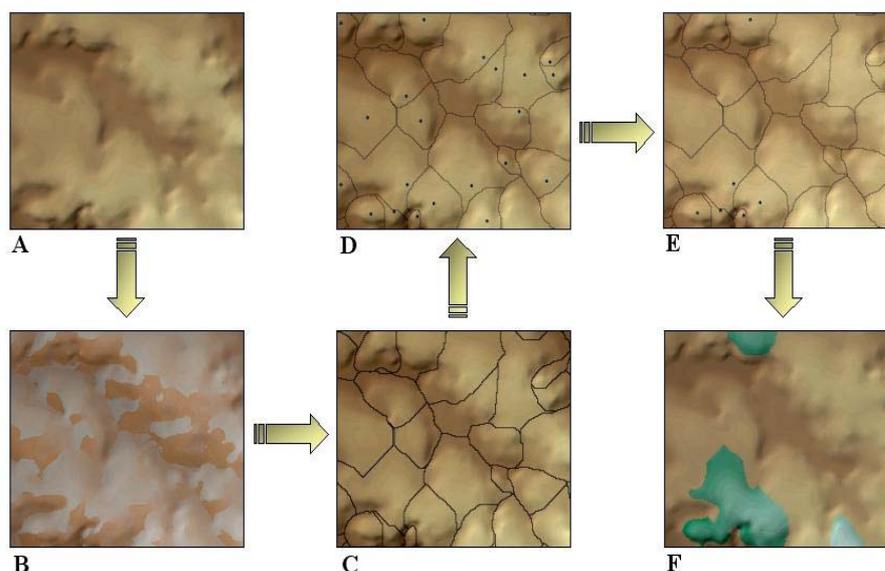
### 3. RESULTADOS

Obteve-se, como resultado, um método compatível com o aplicativo ArcGIS 9.0 para a determinação automática do terço superior em topo de morros, bem como os planos de informação referentes ao mapeamento para o Estado de São Paulo e para o Município de Campinas, respectivamente nas escalas 1:250.000 e 1:50.000.

A Figura 14 exemplifica a seqüência de resultados para uma determinada região de Campinas, podendo ser extrapolada para todo o conjunto de dados.

Fundamental na metodologia, o Grid (formato matricial do SIG ArcInfo) de direção de fluxo dita a delimitação das elevações de forma a padronizar os resultados para APP em topo de morros e linhas de cumeada. Ainda na Figura 14, as porções mais escuras do quadrante B indicam a direção de fluxo sudoeste e as mais claras a oeste, num gradiente de cores expresso no sentido horário.

A base do morro é a cota mais baixa presente na área de cada elevação, enquanto que o topo do morro, além do valor de cota mais elevado, necessita-se de sua posição geográfica para medir a distância entre os cumes e executar o agrupamento das elevações. Por esse motivo utilizou-se para a obtenção do topo, o Grid de direção de fluxo produzido a partir do modelo digital de elevação refinado.



**Figura 15** – Seqüência de Grids produzidos para uma região do Município de Campinas, demonstrando o que ocorreu para todo o conjunto de dados, inclusive para o Estado de São Paulo, considerando as APPs em topo de morros e montanhas e, por conseguinte, em linhas de cumeada: A – modelo digital de elevação refinado. B – Grid de direção de fluxo, no qual as cores mais claras indicam a direção oeste num gradiente no sentido horário até o sudoeste, com a cor mais escura (foi feita uma fusão com o MDE para gerar a impressão de relevo). C – delimitação das elevações obtida por meio do escoamento superficial representado no Grid de direção de fluxo. D – geração dos cumes para cada elevação. E – seleção das elevações classificadas como morro ou montanha, representadas através dos pontos escuros, os quais são os cumes das mesmas (observa-se que nesta região a maioria das elevações não detiveram as condições necessárias para se classificarem). F – áreas de preservação permanente determinadas para a região em questão.

### 3.1. APP em Topo de Morros ou Montanhas e em Linhas de Cumeada para o Estado de São Paulo

A Figura 16 ilustra o mapa temático das APPs, em topo de morros e montanhas, e ao longo das linhas de cumeada, bem como a representação do modelo SRTM, na qual as áreas mais escuras denotam relevos declivosos. Os resultados em termos de APP potenciais em km<sup>2</sup> estão descritos na Tabela 1, representando cerca de 7,7 % da área do estado.

Tabela 1- Áreas de Preservação Permanente para o Estado de São Paulo.

Plano de Informação	Área (km <sup>2</sup> )	Estado SP (%)
APP Topo de Morro	14.613	5,8
APP Linhas de Cumeada	6.017	2,4
APP Total	19.236	7,7

Considerando as discussões técnicas a respeito de APPs em linhas de cumeada, propõe-se que o mapeamento seja efetuado em uma escala regional, abrangendo bacias hidrográficas delineadas através de redes numéricas conectadas que contenham, ao menos, a hidrografia mapeada com ordem 3 (Strahler) na escala de análise.

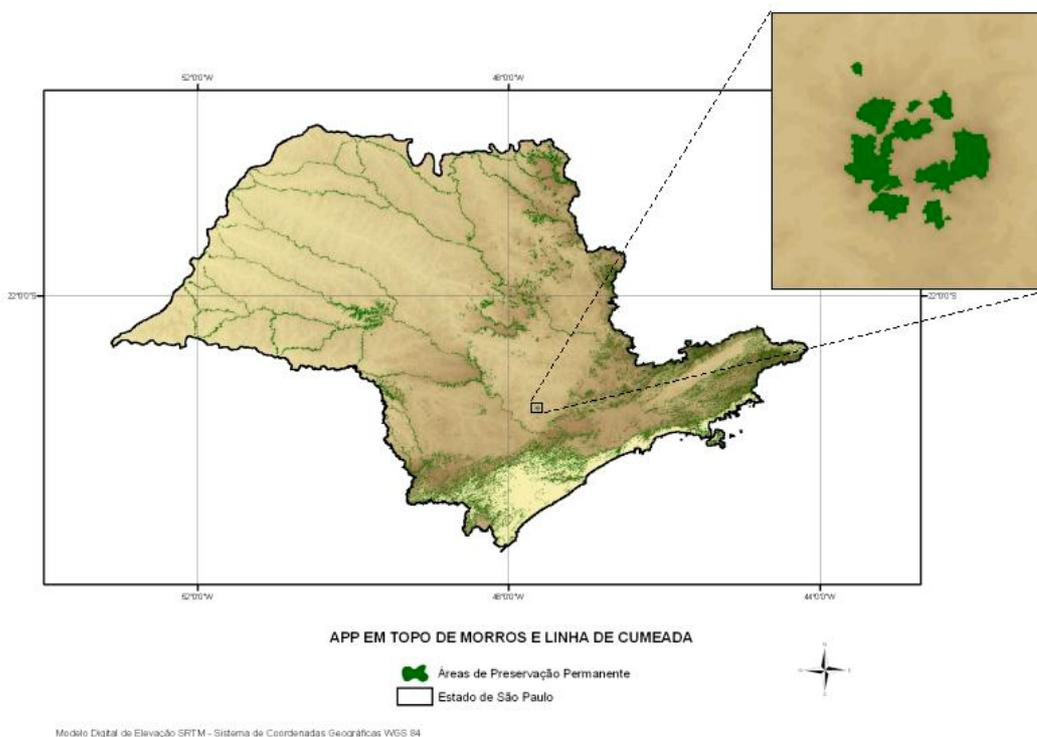


Figura 16 - Áreas de preservação permanente em topo de morros, montanhas e em linhas de cumeadas para o Estado de São Paulo. No canto superior direito, ampliação de uma área específica, contendo APPs em topo de morro.

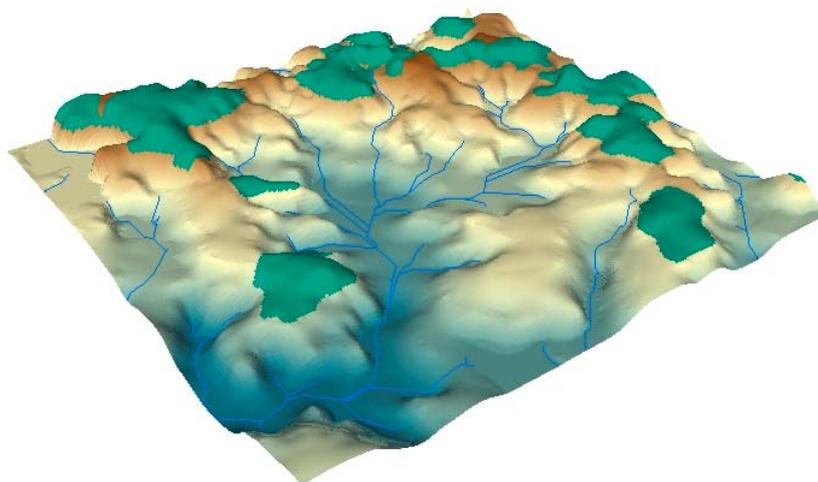
### 3.2. APP em Topo de Morros ou Montanhas e em Linhas de Cumeada para o Município de Campinas

O delineamento do terço superior para a cidade de Campinas – SP foi realizado através dos dados altimétricos oriundos da escala 1:50.000, conforme visualização 3D disponível na Figura 17. Desta forma, pôde-se observar o comportamento da APP em topo de morros e montanhas ao longo de escalas diferenciadas.

As APPs em linhas de cumeada não recobriram o território do município de Campinas – SP. Desta maneira, a área do município contém apenas APP em topo de morros e montanhas (Tabela 2).

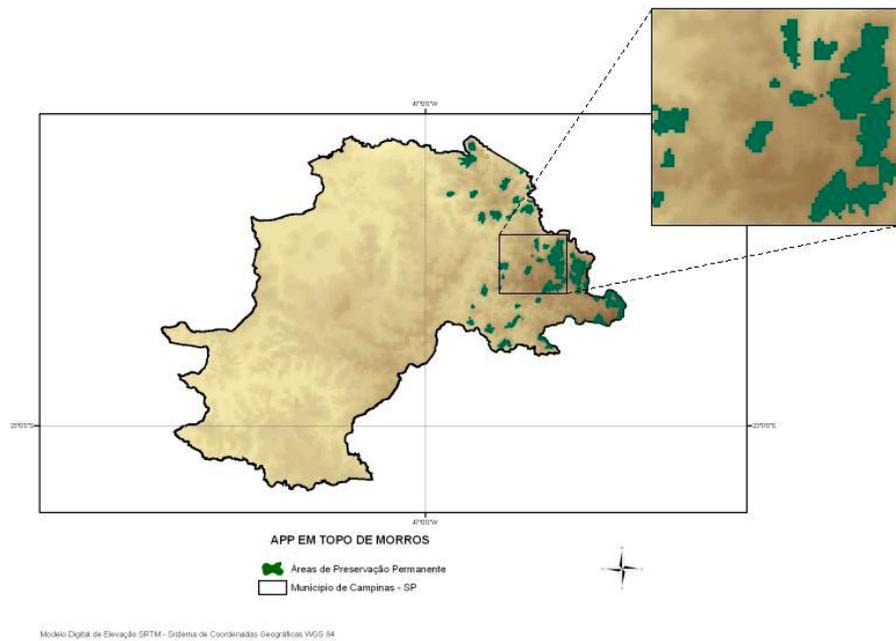
**Tabela 2**– Áreas de Preservação Permanente para o município de Campinas-SP, segundo modelo desenvolvido e aplicado na escala 1:50.000.

Plano de Informação	Área (km <sup>2</sup> )	Município (%)
APP Topo de Morro (1:250.000)	27	3,4
APP Topo de Morro (1:50.000)	116	14,5

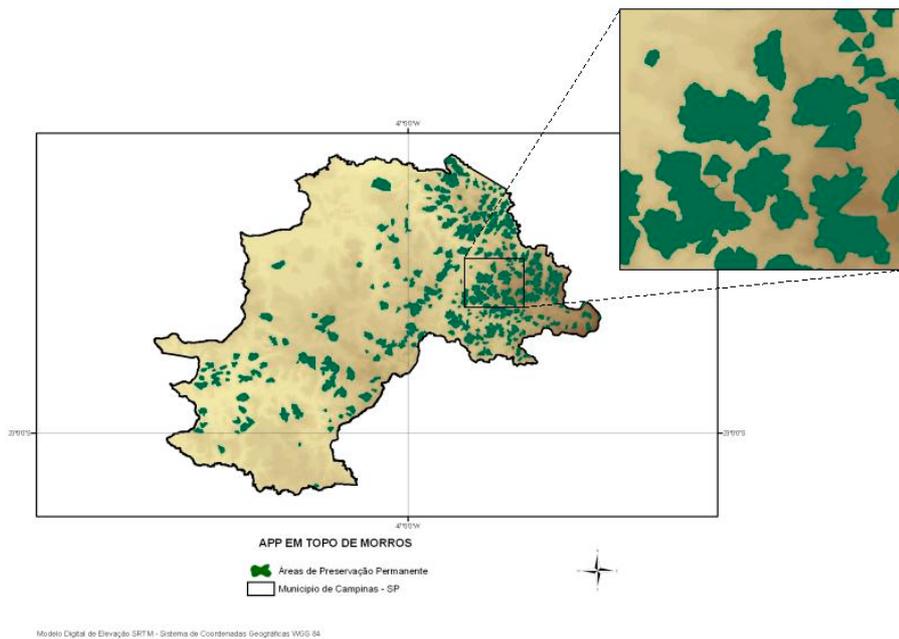


**Figura 17** - Visualização 3D das elevações e suas respectivas APPs em topo de morros numa região do município de Campinas representadas na cor verde escuro.

Na Tabela 2 estão descritas as APPs para Campinas – SP obtidas na escala de 1:50.000 (resolução espacial de 20 metros) e na escala de 1:250.000 (resolução espacial de 90 metros), sendo essa última extraída através de recorte das APPs do Estado de São Paulo (Figura 18). Conforme esses resultados observa-se o crescimento das áreas mapeadas com o aumento da escala ou da resolução do modelo digital (Figura 19), isto devido ao maior detalhamento do relevo apresentado pelo modelo na escala 1:50.000.



**Figura 18** - Áreas de preservação permanente em topo de morros, montanhas e em linhas de cumeadas para o município de Campinas, obtido a partir do recorte da APP para o Estado de São Paulo na escala de 1:250.000. No canto superior direito ampliação de uma área específica contendo APPs em topo de morro.



**Figura 19** - Áreas de preservação permanente em topo de morros, montanhas e em linhas de cumeadas para o município de Campinas, obtido a partir de altimetria na escala de 1:50.000. No canto superior direito ampliação de uma área específica contendo APPs em topo de morro.

#### **4. CONCLUSÕES**

O método desenvolvido e aplicado mostrou-se adequado ao objetivo traçado, sendo as Áreas de Preservação Permanentes, em topo de morros e montanhas para o Estado de São Paulo, geradas com eficiência pelo SIG ArcGIS 9.0. Ele poderia ser aplicado em escala regional, servindo de base para ações de planejamento de desenvolvimento agrícola e florestal, zoneamento, ordenamento territorial e fiscalização ambiental. Os resultados futuros poderiam servir para consolidar a aplicação da atual legislação.

Em ecologia e em geografia, sabe-se que a escala cria o fenômeno. Existe um vínculo entre as escalas de áreas delimitadas. Através da análise do escalonamento para o município de Campinas – SP, concluiu-se que a adoção de uma escala compatível de 1:250.000 para o delineamento da APP em topo de morro implica na redução da área de preservação em 89 km<sup>2</sup> (76%), com relação à APP gerada na escala compatível com 1:50.000. Isso recoloca a necessidade e a importância de uma definição regional das Áreas de Preservação Permanentes em topo de morros e montanhas para todo o Brasil, em bases cartográficas inequívocas, considerando-se três dimensões e não bidimensional, como tem ocorrido na prática em estudos parciais. Existe a possibilidade de usar essa metodologia para o Brasil. Os dados do SRTM estão disponíveis com resolução espacial de 90 metros. Contudo, nesta resolução, ou mesmo considerando-se a precisão vertical dos dados, as diferenças de nível entre base e cume das elevações não podem, em parte, serem detectadas.

Atualmente, com as tecnologias SAR e LIDAR disponíveis, pode-se obter por diferença entre bandas (X e L ou P) a altitude do relevo com bastante precisão, usando-se também algoritmos que removem a vegetação. Contudo, quanto maior o nível de detalhe no levantamento, mais oneroso se torna o projeto, inviabilizando-o quando o objetivo é o mapeamento em pequena escala.

## **5. REFERÊNCIAS**

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de Março de 2002, dispõe sobre as áreas de preservação permanente.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. Ver. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 164 p.

ESRI. Geoprocessing in ArcGIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2004.

GUIMARÃES, M. **Cartografia Ambiental da Região de Vitória da Conquista – BA**. São Paulo: USP-IB-DEG, 1999, 200 p. il. Dissertação (Mestrado em Ecologia).

IBGE. Amparo - folha topográfica (SF-23-Y-A-VI-1). Escala: 1:50.000. Rio de Janeiro, 1983.

IBGE. Campinas - folha topográfica (SF-23-Y-A-V-4). Escala: 1:50.000. Rio de Janeiro, 1973.

IBGE. Cosmópolis - folha topográfica (SF-23-Y-A-V-2). Escala: 1:50.000. Rio de Janeiro, 1988.

IBGE. Indaiatuba - folha topográfica (SF-23-Y-C-II-2). Escala: 1:50.000. Rio de Janeiro, 1973.

IBGE. Valinhos - folha topográfica (SF-23-Y-A-VI-3). Escala: 1:50.000. Rio de Janeiro, 1988.

MIRANDA, E. E.de; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, J. R. **Monitoramento do uso e cobertura das terras na região de Barrinhas, Jaboticabal e Sertãozinho**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 32 p. (Relatório Técnico).

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... São José dos campos: INPE, 2003. p. 1381-1389.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blüncher, 1988. 308 p.

PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; GIMENEZ, D. Fractal modeling of airborne laser altimetry data. *Remote Sensing of Environment*, n. 61, p. 150-161, 1997.

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., 2002, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 2002.

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.

ZYL, J.J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. *Acta Astronautica*, v. 48, p. 559-565, 2001.



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*  
**Embrapa Monitoramento por Satélite**  
*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*  
*Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 - Parque São Quirino*  
*13088-300 Campinas-SP*  
*Fone (19) 3256-6030 Fax (19) 3254-1100*  
*<http://www.cnpm.embrapa.br> [sac@cnpm.embrapa.br](mailto:sac@cnpm.embrapa.br)*

COMITÊ DE PUBLICAÇÃO  
EDITORAÇÃO