

Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo

Marcos Cicarini Hott¹
Marcelo Guimarães¹
Evaristo Eduardo de Miranda¹

¹Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite – EMBRAPA
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 – Parque São Quirino
13088-300– Campinas – SP - Brasil
{marcos, marcelo, mir}@cnpem.embrapa.br

Abstract. According to Brazilian CONAMA N° 303 (2002)'s law, top of hills and mountains are considered permanent preservation areas (PPA), where economical activities and deforestation are not allowed. In order to attend the law, it is necessary to characterize potential PPA's, originating maps to support field actions. The scope of this work was to develop a method for mapping top of hills and mountains in São Paulo State through GIS. Methodology was based on altimetry data derivatives from interferometers Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), at 1:250.000 scale. The results indicated 14.613 km² (5,8%) of PPA's area in top of hills.

Palavras-chave: Top of hills, digital elevation model, geographic information systems, topo de morros, modelo digital de elevação, sistemas de informações geográficas.

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.

A aplicação da “Lei do Topo de Morro”, como é conhecido o dispositivo da Resolução do CONAMA N° 303 de 20 de março de 2002 (CONAMA, 2002), tem causado divergências 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. Num país de dimensões continentais como o Brasil, torna-se imprescindível para o planejamento, o ordenamento territorial e a fiscalização a caracterização dessas potenciais áreas de preservação permanente em mapas para a orientação das ações de campo, sejam em âmbito regional ou nacional.

A delimitação dessas áreas através de métodos analógicos, incluindo a interpretação visual, é subjetiva, eminentemente bidimensional, está condicionada à experiência do analista e é sempre passível de contestação. A utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital e de técnicas de 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..

Os dados de sensoriamento remoto orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais,

urbanos, oceanógrafos, entre outros (Crósta, 1993; Miranda et al., 2002), graças a um conjunto cada vez maior de sensores passivos e ativos (Moreira, 2001).

Dentre os 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*). A 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 pode-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.

Através da utilização de ferramentas de geoprocessamento, este trabalho propõe o exemplo de um método desenvolvido para delimitação do terço superior dos topos de morro 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 no cenário agrícola e sócio-econômico 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. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do método em questão, foram abordados os termos constantes na Resolução do CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002 (CONAMA, 2002), através da aplicação de técnicas envolvendo sistemas de informações geográficas (SIG) e modelagem digital de elevação.

Neste trabalho foram utilizados o SIG ArcGIS 9.0 (ESRI, 2004) e um 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*), da NASA (Agência Espacial e Aeronáutica) e NGA (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial) dos Estados Unidos, executado no ano 2000, e disponibilizado pelo USGS Eros Data Center (Centro de Dados do Departamento de Levantamento Geológico dos Estados Unidos).

Este MDE, gerado por interferometria na banda X, fornece uma confiabilidade vertical de 90%, assim, algumas elevações poderão ser eventualmente excluídas em uma classificação de morros ou montanhas.

Inicialmente, foram selecionados os dados no formato matricial para o Estado de São Paulo. O modelo foi projetado para o sistema UTM fuso 23, meridiano central 45° SO, Datum SAD 69, de acordo com a extensão territorial admissível para tal sistema e em concordância com as bases de dados disponíveis em empresas e instituições, com as quais são feitas análises.

Houve a necessidade da realização de um refinamento no modelo do SRTM para sua utilização no trabalho de mapeamento da APP, conforme mostrado na **Figura 1**.

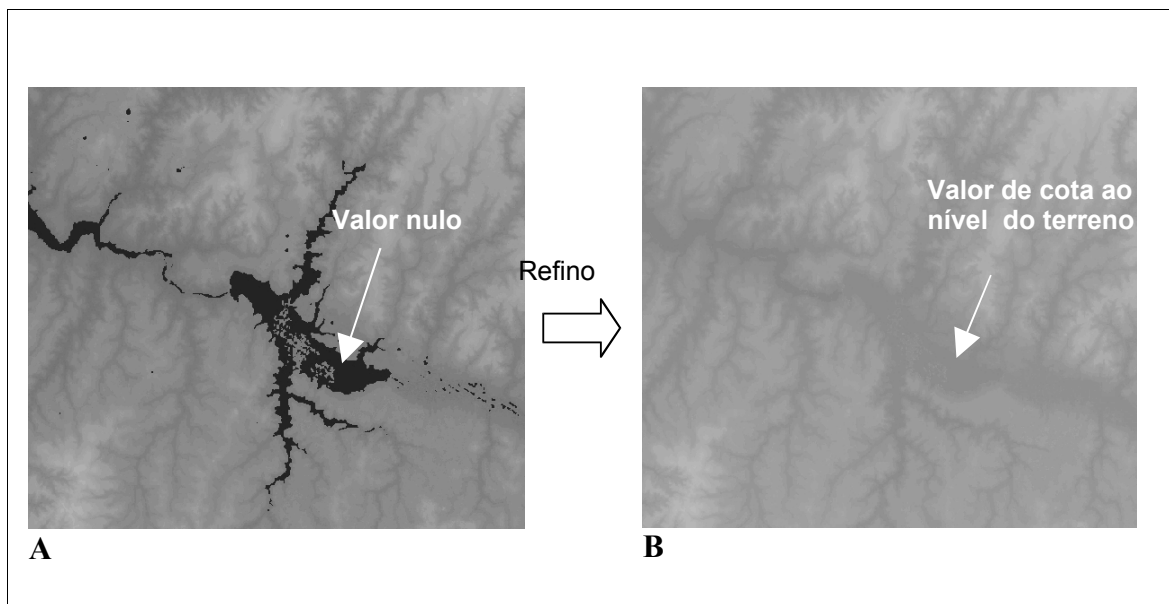


Figura 1 - O modelo digital SRTM antes da etapa de refinamento (imagem A) e após a correção (imagem B).

Com o objetivo de observar o escalonamento dessas APPs em função do aumento da escala, também foi gerado o terço superior para o Município de Campinas – SP, a partir de dados altimétricos oriundos da cartografia em escala 1:50.000.

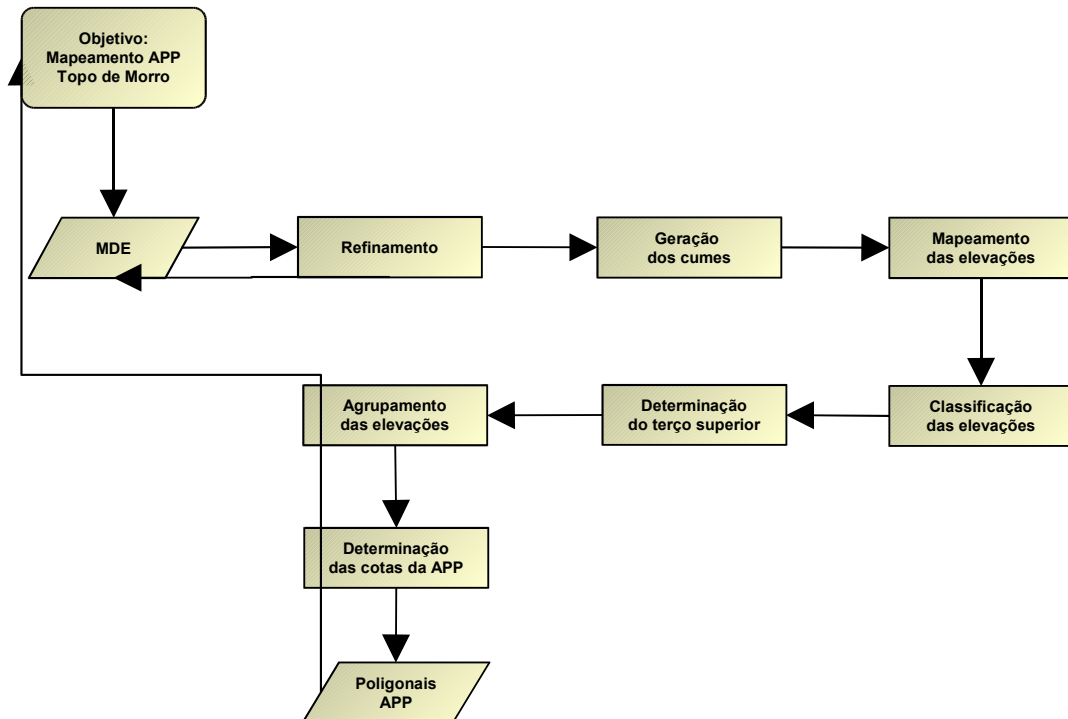
O terço superior em linhas de cumeada foi abordado neste trabalho, devido ao fato que o método da determinação do topo de morro pode ser usado para as elevações da cumeada. Todavia, deve-se adotar um critério para a definição dos divisores de águas a serem considerados.

Essas linhas de cumeada seriam cristas significativas, vislumbradas no relevo e, portanto, localizadas mediante conhecimento de campo ou analisadas mediante um critério estatístico inserido no SIG. A contrapartida disto seria a determinação do terço superior de toda a linha de cumeada a partir da definição da extensão da bacia.

Desta forma, a APP em linhas de cumeada foi obtida a partir do modelo SRTM para bacias geradas para toda rede conectada no Estado que contenha hidrografia mapeada a partir da ordem 3 (método de Strahler), na escala 1:250.000. 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 por base o pico mais baixo da cumeada.

No **Fluxograma 1**, está 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.

Fluxograma 1 - Método para a determinação da APP 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 topos de morros, bem como planos de informação referentes ao mapeamento para o Estado de São Paulo, compatível com a escala 1:250.000, e para o Município de Campinas compatível com a escala 1:50.000.

A **Figura 2** ilustra o mapa temático das APPs em topos de morros e montanhas, e ao longo das linhas de cumeada, bem como representação do modelo SRTM, na qual as áreas mais escuras denotam relevos declivosos. Os resultados em termos de APP potenciais em km² estão descritos na **Tabela 1**, representando cerca de 7,7 % da área do Estado, nessa escala cartográfica.

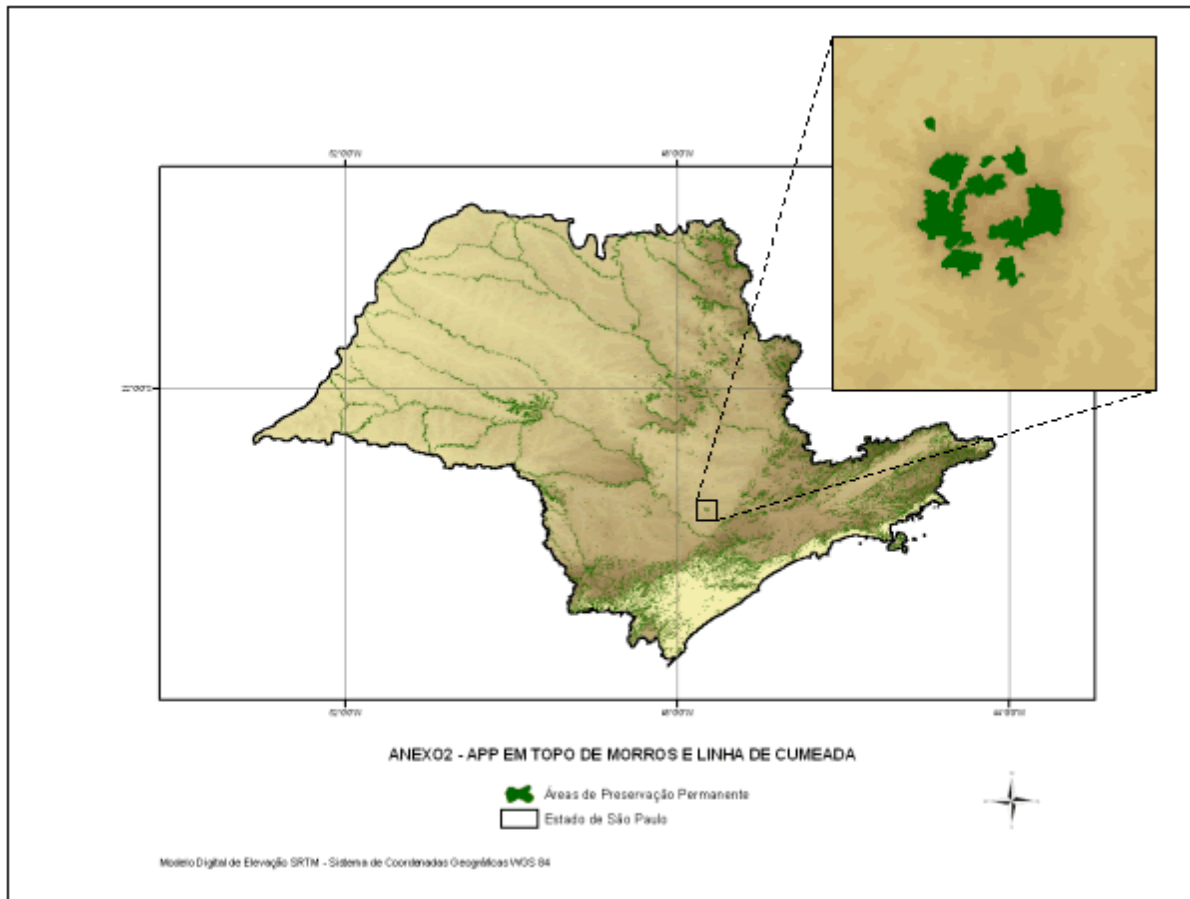


Figura 2 - Áreas de preservação permanente em topos de morros, montanhas e em linha de cumeadas para o Estado de São Paulo. No canto superior direito ampliação de uma área específica contendo APPs em topo de morro.

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 contendo, ao menos, a hidrografia mapeada com ordem 3 (Strahler) na escala de análise.

Para verificação das APPs em Campinas – SP, na escala 1:50.000, delineou-se apenas o terço superior em topos de morros ou montanhas. As APPs em linhas de cumeadas obteve-se, neste caso, por recorte da base de informação estadual usando o limite municipal.

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 1 – Áreas de Preservação Permanente para o Estado de São Paulo, segundo modelo desenvolvido e aplicado na escala 1:250.000

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

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 3**. Desta forma, pôde-se observar o comportamento do delineamento automático da APP em topo de morros e montanhas ao longo de escalas diferenciadas.

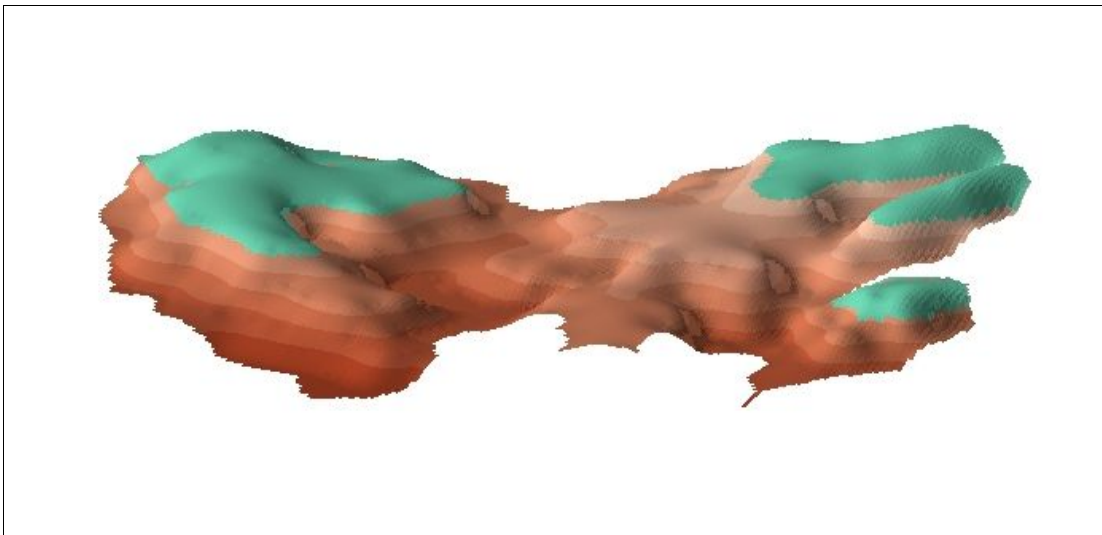


Figura 3 - Visualização 3D das elevações e suas respectivas APPs em uma região do município de Campinas – SP, representadas na cor verde.

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 nesta última extraída através de recorte das APPs do Estado de São Paulo. Conforme esses resultados observa-se o crescimento das áreas mapeadas com o aumento da escala ou da resolução do modelo digital.

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 ²)	Município (%)
APP Topo de Morro (1:250.000)	27	3,4
APP Topo de Morro (1:50.000)	116	14,5

4. Conclusão

O método empregado se mostrou adequado ao objetivo traçado, sendo as Áreas de Preservação Permanente em topos 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 e servir 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 trabalho e as 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 km² (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 Permanente em topos de morros e montanhas para todo o Brasil, em bases cartográficas inequívocas, realmente considerando 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 a resolução espacial de 90 metros. Contudo, nesta resolução, ou mesmo considerando a precisão vertical dos dados, as diferenças de nível entre base e cume das elevações não são em parte detectadas.

Atualmente com 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 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, CA, Environmental Systems Research Institute, Inc. 2004.

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

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: Ed. Edgard Blücher, 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: VI Congresso Brasileiro de Geógrafos, 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.