

MARÍLIA MARKUS

**AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO
DA CASA BRANCA - BRUMADINHO - MG**

**GEOPROCESSAMENTO 2003
V CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO**



**DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEO CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA

**AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DA
CASA BRANCA - BRUMADINHO - MG**

MARÍLIA MARKUS

MARÍLIA MARKUS

**AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DA
CASA BRANCA - BRUMADINHO - MG**

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Geoprocessamento
do Instituto de Geo Ciências da
Universidade Federal de Minas Gerais
para a obtenção do título de
Especialista em Geoprocessamento.

Orientador:

Philippe Maillard

Belo Horizonte

2003

MARKUS, Marília

Avaliação das Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Ribeirão da Casa Branca - Brumadinho – MG. Belo Horizonte, 2003.

viii. 33 f, il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2003.

1. Geoprocessamento. 2. Área de Preservação Permanente. 3. Mata Ciliar 4. Avaliação das Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Ribeirão da Casa Branca - Brumadinho – MG.

Agradecimentos

Agradeço aos professores do curso pelos conhecimentos transmitidos, aos colegas pela oportunidade de convívio e compartilhamento de dúvidas e soluções e ao monitores Charles e Christian pela dedicação que tiveram.

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia para a avaliação da cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia do Ribeirão da Casa Branca no município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. O mapa de uso do solo foi elaborado por segmentação e classificação de Imagem Landsat, e as Áreas de Preservação Permanente foram identificadas em mapas hidrográficos e topográficos. Utilizando-se álgebra de mapas foram elaborados os Mapas Diagnóstico das APPS. Os resultados obtidos indicaram uma grande degradação destas e mostram a viabilidade da aplicação das técnicas de geoprocessamento na caracterização de áreas de preservação, constituindo-se em instrumento importante no subsídio a Programas de Preservação Ambiental.

Sumário

<i>1 – Introdução</i>	<i>1</i>
<i>2 – Objetivos</i>	<i>5</i>
<i>3 – Estudos Anteriores</i>	<i>6</i>
<i>4 – Localização</i>	<i>7</i>
<i>5– Fundamentos Teóricos</i>	<i>9</i>
<i>5.1 - Segmentação de Imagens</i>	<i>9</i>
<i>5.2 - Classificação de Imagens</i>	<i>10</i>
<i>5.2.1 – Classificação de Imagens Segmentadas</i>	<i>11</i>
<i>5.3 – Álgebra de Mapas</i>	<i>13</i>
<i>6 – Materiais</i>	<i>14</i>
<i>7 – Roteiro Metodológico</i>	<i>15</i>
<i>8 – Mapas Diagnóstico</i>	<i>15</i>
<i>8.1 – Imagem Landsat</i>	<i>16</i>
<i>8.2 - Imagem Segmentada</i>	<i>16</i>
<i>8.3 – Imagem Classificada</i>	<i>16</i>
<i>8.4 - Declividades</i>	<i>20</i>
<i>8.5 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente</i>	<i>22</i>
<i>8.5.1 - Rios e Lagoas</i>	<i>22</i>
<i>8.5.2 - Nascentes</i>	<i>23</i>
<i>8.5.3 – Topos de Morros</i>	<i>26</i>
<i>8.5.4 – Encostas com Declividade maior que 45°</i>	<i>28</i>
<i>9 – Análise dos Resultados Obtidos</i>	<i>29</i>
<i>10 – Conclusões</i>	<i>32</i>
<i>11 – Referências Bibliográficas</i>	<i>33</i>

Figuras

<i>Figura 1 - Mapa de localização da microbacia</i>	7
<i>Figura 2 - Imagem Landsat da microbacia</i>	16
<i>Figura 3 - Imagem classificada e uso da imagem fotográfica acoplada para classificação de temas</i>	17
<i>Figura 4- Mapa Temático do Uso do Solo</i>	18
<i>Figura 5 - Mapa Temático do Declividades</i>	20
<i>Figura 6 - Mapa Hipsométrico</i>	21
<i>Figura 7 – Rede Hidrográfica da microbacia do Ribeirão da Casa Branca</i>	22
<i>Figura 8 – Uso do Solo na APP dos corpos d’água</i>	23
<i>Figura 9 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante superior direito</i>	24
<i>Figura 10 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante inferior direito</i>	24
<i>Figura 11 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante inferior esquerdo</i>	25
<i>Figura 12 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante superior esquerdo</i>	25
<i>Figura 13 – Topos de Morros</i>	27
<i>Figura 14 – Uso do Solo nos Topos de Morros</i>	27
<i>Figura 15 – Uso do Solo nas encostas com declividades maior que 45°</i>	28

Tabelas

<i>Tabela 1 - Uso de Solo na microbacia</i>	19
<i>Tabela 2 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia</i>	29
<i>Tabela 3 - Uso do Solo em percentuais nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia</i>	30

Gráficos

<i>Gráfico 1 - Uso do Solo na microbacia</i>	19
<i>Gráfico 2 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia</i>	29
<i>Gráfico 3 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da microbacia</i>	30
<i>Gráfico 4 - Uso do Solo em percentuais na área total da microbacia</i>	31

1. INTRODUÇÃO

O processo de ocupação do Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e consequente destruição dos recursos naturais, particularmente das florestas. Ao longo da história, a cobertura florestal nativa, representada pelos diferentes biomas, foi sendo fragmentada, cedendo espaço para culturas agrícolas, pastagens e cidades.

A noção de recursos naturais inesgotáveis, dadas as dimensões continentais do País, estimulou e ainda estimula a expansão da fronteira agrícola. Assim, o processo de fragmentação florestal é intenso nas regiões economicamente mais desenvolvidas do Sul e Sudeste e avança rapidamente para o Centro-Oeste e Norte, ficando a vegetação arbórea nativa representada principalmente por florestas secundárias, em variado estado de degradação, salvo algumas reservas de florestas bem conservadas. Este processo de eliminação das florestas resultou num conjunto de problemas ambientais, como a extinção de várias espécies da fauna e da flora, as mudanças climáticas locais, a erosão dos solos e o assoreamento dos cursos d'água.

As medidas de preservação e recuperação ambientais no Brasil ainda são modestas e passaram a ter maior expressão a partir da última década. É de 1997 a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, que caracteriza a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A conservação de bacias hidrográficas é uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e,consequentemente os ecossistemas aquáticos. Esta abordagem baseia-se na constatação de que muitos dos problemas de qualidade e quantidade de água são evitados ou resolvidos de maneira eficaz por meio de ações que focalizem a bacia hidrográfica como um todo, as atividades desenvolvidas em sua área de abrangência e os atores envolvidos.

Dentre os inúmeros fatores ambientais presentes nesta unidade territorial, há de se ressaltar a importância das Áreas de Preservação Permanente definida no Código Florestal (Lei 4771, de 1965) como:

“É a área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade e a fertilidade do solo, a biodiversidade, assim como, de proteger a fauna e a flora e assegurar o bem-estar

das populações humanas. A área de preservação permanente é intocável e a supressão parcial ou total da sua vegetação só será autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse social. Quando tratar-se de área de preservação permanente em propriedade rural, a sua supressão dependerá de autorização do órgão ambiental competente.”

Nos remanescentes das matas muitos ecossistemas encontram-se extremamente fragmentados e degradados e, dentre eles, uma das situações mais precárias é a das matas ciliares, cujo déficit estimado supera um milhão de hectares. Esta recomposição significa o plantio de mais dois bilhões de mudas. É uma imensa dívida para com a qualidade dos recursos hídricos e com a riqueza de fauna e flora. As matas ciliares foram alvo de todo o tipo de ação nociva. Basta considerar que muitas cidades foram formadas às margens de rios, eliminando-se todo tipo de vegetação ciliar; e muitas acabam pagando um preço alto por isto, através de inundações constantes. Além do processo de urbanização, as matas ciliares sofrem pressão antrópica por uma série de fatores: são as áreas diretamente mais afetadas na construção de hidrelétricas; nas regiões com topografia acidentada, são as áreas preferenciais para a abertura de estradas, implantação de culturas agrícolas e pastagens, e representam obstáculos de acesso do gado ao curso d'água.

Este processo de degradação das formações ciliares, além de desrespeitar a legislação, que torna obrigatória a preservação das mesmas, resulta em vários problemas ambientais. As matas ciliares funcionam como filtros, retendo defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos que seriam transportados para os cursos d'água, afetando diretamente a quantidade e a qualidade da água e conseqüentemente a fauna aquática e a população humana. São importantes também como corredores ecológicos, ligando fragmentos florestais e, portanto, facilitando o deslocamento da fauna e o fluxo gênico entre as populações de espécies animais e vegetais. Em regiões com topografia acidentada, exercem a proteção do solo contra os processos erosivos.

Apesar do seu papel relevante na manutenção da biodiversidade, a designação das florestas, situadas às margens dos rios, ao redor de nascentes, lagos e reservatórios, como Área de Preservação Permanente (APP) pelo Código Florestal (Lei 4771, de 1965) baseou-se, sobretudo, no papel por elas desempenhado na proteção dos recursos hídricos.

A preservação e proteção dos recursos hídricos está pois associada à proteção dos recursos vegetais. Estes recursos no Estado de Minas Gerais abrigam uma grande variabilidade

ambiental que é devida à sua vasta extensão territorial, à movimentação do relevo e ao clima, particularmente, no que concerne à marcha pluvial. A riqueza extraordinária da flora no Estado de Minas Gerais, se apresenta com tipologias que ocupam grandes espaços territoriais como as Florestas Estacionais Semidecíduais Montana e Submontana, a Floresta Estacional Decidual, os Cerrados com suas diferentes fisionomias, as Caatingas e os Campos Altimontanos (Silva, A.F, 2000).

De acordo com o Artigo 10 do Código Florestal constitui Área de Preservação Permanente a área situada:

I - em local de pouso de aves de arribação, assim declarado pelo poder público ou protegido por convênio, acordo ou tratado internacional de que o Brasil seja signatário;

II - ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, a partir do leito maior sazonal, medido horizontalmente, cuja largura mínima, em cada margem, seja de:

a) 30m (trinta metros), para curso d'água com largura inferior a 10m (dez metros);

b) 50m (cinquenta metros), para curso d'água com largura igual ou superior a 10m (dez metros) e inferior a 50m (cinquenta metros);

c) 100m (cem metros), para curso d'água com largura igual ou superior a 50m (cinquenta metros) e inferior a 200m (duzentos metros);

d) 200m (duzentos metros), para curso d'água com largura igual ou superior a 200m (duzentos metros) e inferior a 600m (seiscentos metros);

e) 500m (quinhentos metros), para curso d'água com largura igual ou superior a 600m (seiscentos metros);

III - ao redor de lagoa ou reservatório de água, natural ou artificial, desde o seu nível mais alto, medido horizontalmente, em faixa marginal cuja largura mínima seja de:

a) 15m (quinze metros) para o reservatório de geração de energia elétrica com até 10ha (dez hectares), sem prejuízo da compensação ambiental;

b) 30m (trinta metros) para a lagoa ou reservatório situados em área urbana consolidada;

c) 30m (trinta metros) para corpo hídrico artificial, excetuados os tanques para atividade de aqüicultura;

d) 50m (cinquenta metros) para reservatório natural de água situado em área rural, com área igual ou inferior a 20ha (vinte hectares);

e) 100m (cem metros) para reservatório natural de água situado em área rural, com área superior a 20ha (vinte hectares);

IV - em nascente, ainda que intermitente, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50m (cinquenta metros);

V - no topo de morros monte ou montanha, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura da elevação em relação à base;

VI - em encosta ou parte dela, com declividade igual ou superior a cem por cento ou 45° (quarenta e cinco graus) na sua linha de maior declive, podendo ser inferior a esse parâmetro a critério técnico do órgão competente, tendo em vista as características edáficas da região;

VII - nas linhas de cumeada, em seu terço superior em relação à base, nos seus montes, morros ou montanhas, fração essa que pode ser alterada para maior, a critério técnico do órgão competente, quando as condições ambientais assim o exigirem;

VIII - em borda de tabuleiro ou chapada, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100m (cem metros), em projeção horizontal;

IX - em altitude superior a 1.800m (mil e oitocentos metros);

X - em ilha, em faixa marginal além do leito maior sazonal, medida horizontalmente, de conformidade com a largura mínima de preservação permanente exigida para o corpo d'água;

XI - em vereda.

2 OBJETIVOS

GERAL

Com o enfoque na questão ambiental e nas diretrizes do desenvolvimento sustentado este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma metodologia utilizando Sensoriamento Remoto através de Imagens de Satélite, Processamento Digital de Imagens e Sistema de Informações Geográficas (SIGs) para avaliação da cobertura vegetal em Áreas de Preservação Permanente (APPs).

ESPECÍFICOS

A unidade de estudo recomendada para o estudo das matas ciliares é a microbacia hidrográfica, que por sua área de pequeno tamanho mantém as características da rede de drenagem.

- Avaliação da cobertura vegetal das APPs na microbacia do Ribeirão da Casa Branca, município de Brumadinho - MG;
- Caracterizar o uso e ocupação do solo na área da microbacia;
- Indicar pontos de desmatamento e degradação ambiental.

3 ESTUDOS ANTERIORES

Conforme Durigan (1994), a função protetora, a importância da preservação e/ou restauração das florestas ao longo dos rios e ao redor de lagos e reservatórios fundamenta-se no amplo espectro de benefícios que este tipo de vegetação traz ao ecossistema, exercendo função protetora sobre os recursos naturais bióticos e abióticos.

Do ponto de vista dos recursos bióticos, estas matas, estendendo-se às vezes por longas distâncias como uma faixa de vegetação sempre verde contínua, ora mais estreita, ora mais larga, criam condições favoráveis para a sobrevivência e manutenção do fluxo gênico entre populações de espécies animais que habitam as faixas ciliares ou mesmo fragmentos florestais maiores por elas conectados.

O equilíbrio dos ecossistemas aquáticos depende diretamente da proteção da vegetação ripária, que age como reguladora das características químicas e físicas da água dos rios, mantendo-as em condições adequadas para a sobrevivência e reprodução da ictiofauna.

Lima (1989) ressalta que a localização desta vegetação, junto aos corpos d'água, faz com que ela possa desempenhar importantes funções hidrológicas, compreendendo: proteção da zona ripária, filtragem de sedimentos e nutrientes, controle do aporte de nutrientes e de produtos químicos aos cursos d'água, controle da erosão das ribanceiras dos canais e controle da alteração da temperatura do ecossistema aquático.

Os resultados conhecidos de estudos sobre o papel das florestas ripárias confirmam a hipótese de que elas atuam como filtros de toda água que atravessa o conjunto de sistemas componentes da bacia de drenagem, sendo determinantes, também, das características físicas, químicas e biológicas dos corpos d'água (Delitti, 1989).

A utilização do Sensoriamento Remoto para esta finalidade é de grande valia. A maior parte dos trabalhos que estudam as formações ribeirinhas nessa técnica, vêm utilizando fotografias aéreas, como os trabalhos de MAILLARD P. e SOUZA C.G. (2003) e SOARES V. P. *et al* (2003).

4 LOCALIZAÇÃO

A Figura 1 mostra a localização da microbacia do Ribeirão da Casa Branca. Na confecção de todos os mapas foram utilizadas coordenadas UTM 23S e o datum SAD 69. O Ribeirão da Casa Branca tem sua nascente na Serra Ouro Fino no município de Brumadinho, região central de Minas Gerais, zona metalúrgica. A microbacia faz parte da Sub bacia do Rio Paraopeba, por sua vez afluyente do Rio São Francisco na Represa de Três Marias. A área de estudo se encontra entre as coordenadas UTM 23S 585.924 e 586.991 Oeste e 7.768730 e 7.782.128 Sul.

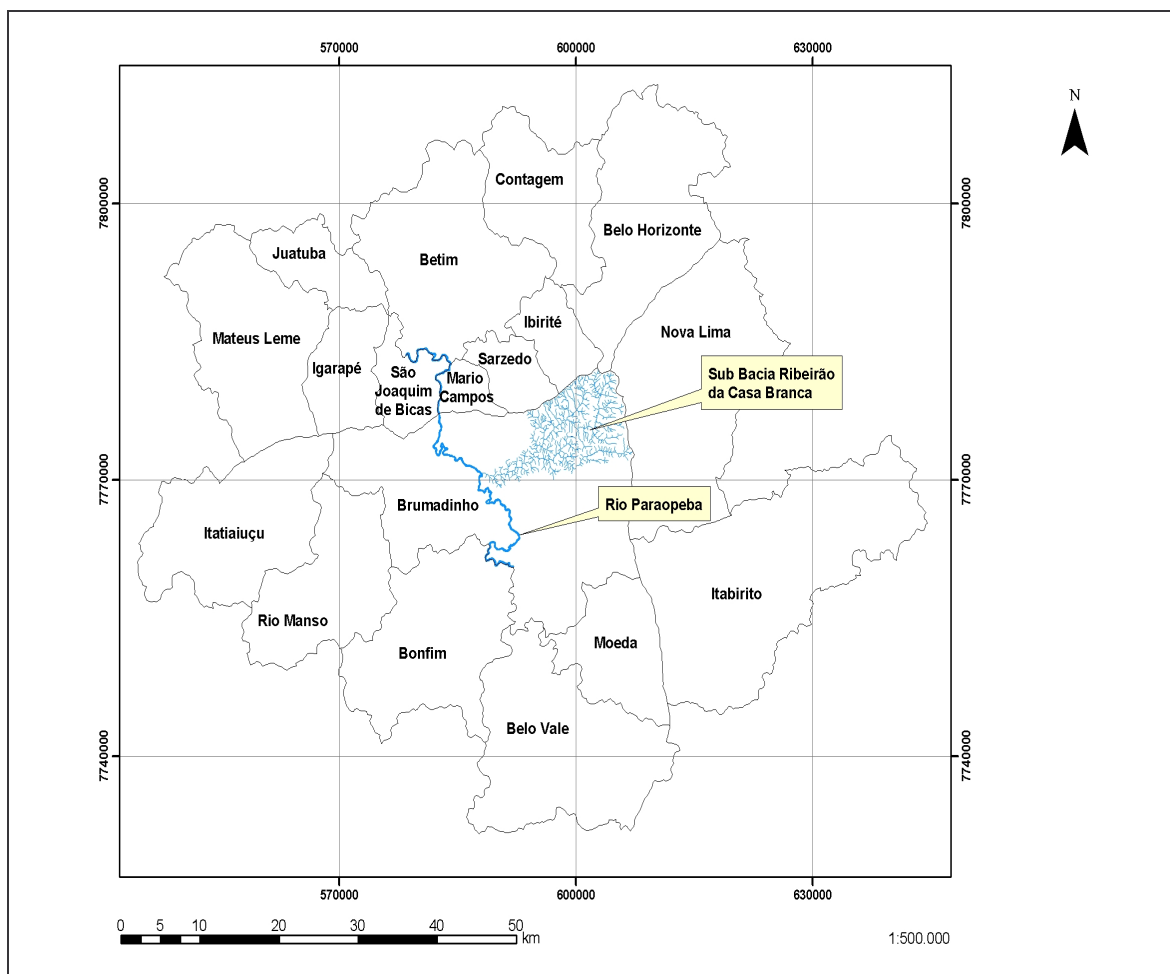


Figura 1 - Mapa de localização da microbacia

A mineração é a principal atividade econômica, ocorrendo também as atividades de agricultura e pecuária em baixa escala. Existem também os condomínios fechados (desmembramento rural urbano). A região possui grande riqueza ambiental e paisagística com vocação para o ecoturismo.

A cobertura vegetal da região é composta por Florestas Estacionais Semidecíduais, Campos Altimontanos e Campos Rupestres.

Silva, S.M., descreve a Floresta Estacional Semidecidual como um tipo florestal caracterizado por comunidades, onde 20 a 50 % dos indivíduos do estrato arbóreo superior perdem as folhas na estação desfavorável, e portanto está relacionado em praticamente toda a sua área de ocorrência a um clima de duas estações definidas, uma chuvosa e outra seca (nordeste, centro-oeste e parte do sudeste), ou então a uma acentuada variação térmica (sul). Sendo assim, ocorre de maneira descontínua praticamente em todos os estados das regiões nordeste, sudeste e sul do país, e em parte no centro-oeste, chegando até a bacia do rio Uruguai, o Paraguai e a Argentina.

As Florestas Estacionais Semidecíduais ocorrem em amplitude altitudinal desde cerca dos 100 até os 1.800 metros, sendo que sua maior distribuição está entre 300 e 1.200 metros. A precipitação pluvial média anual, em sua grande parte, situa-se entre os 1.200 e 1.500mm. Essas florestas recobrem as terras no espaço dos Domínios dos Morros Florestados no sul e no sudeste, com predomínio dos solos Vermelhos-Amarelados (Podzólicos e Latossolos). Sua distribuição está especialmente na serra da Mantiqueira nas Faixas de Dobramentos do Sul-Sudeste, assim como sobre os Embasamentos do Sudeste (no centro-sul); nas Coberturas Metassedimentares do São Francisco, também no centro-sul e na Cobertura Sedimentar do rio Paraná no Triângulo Mineiro

As Florestas Estacionais Semidecíduais apresentam-se, geralmente, mais ricas quanto mais próximas geograficamente se encontrem da Floresta Ombrófila Densa, que se coloca a leste. De forma, que a riqueza tende a diminuir no sentido leste-oeste, acompanhando a severidade da estacionalidade.

Nos topos das cadeias de grandes montanhas de Minas Gerais, em altitudes um tanto variáveis, mas sempre acima dos 1.000 metros, nas Coberturas Metassedimentares, encontram-se os Complexos Rupestres de Quatzito e Arenito, considerados, por muitos, como refúgios ecológicos. Sua maior representatividade está na Cadeia do Espinhaço, desde a região de Grão Mogol até o limite sul, nas cercanias de Ouro Preto e Ouro Branco.

A vegetação dos campos altimontanos é muito rica e apresenta-se em mosaicos de comunidades. Ambientes do tipo floresta baixa são encontrados nas encostas e vertentes abrigadas dos fortes ventos. Não raro o estrato herbáceo contínuo é interrompido por afloramentos rochosos.

Em todas as tipologias vegetais encontradas no Estado, onde quer que apareçam os cursos d'água, estão presentes as Florestas de Galeria e as Ciliares. Suas composições, geralmente, recebem contribuições mais efetivas da vegetação característica das circunvizinhanças mas, são muito comuns espécies de Inga (Leguminosae-Mimosoideae), Ficus (Moraceae), Genipa americana L. (Rubiaceae), Actinostemon (Euphorbiaceae), Tapirira guianensis Aubl. (Anacardiaceae), entre outras (SILVA,A.F.).

5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1 Segmentação de Imagens

A classificação estatística é o procedimento convencional mais utilizado para análise digital de imagens. Constitui um processo de análise de pixels de forma isolada.

Esta abordagem apresenta as limitações, pois a análise pontual é baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar estas limitações, é recomendado o uso de segmentação de imagem, anterior à fase de classificação, onde são extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada (INPE, 2003).

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como por exemplo o nível de cinza dos pixels, textura e contraste.

Na segmentação orientada a regiões é analisada a similaridade dos níveis de cinza da imagem. Como seu nome implica, o crescimento de regiões é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores. A mais simples dessas abordagens é a agregação de pixels, que começa com um conjunto de pontos "semente" e, a partir deles, cresce as regiões anexando a cada ponto semente aqueles pixels que possuam propriedades similares, como nível de cinza, textura ou cor (GONZALEZ R.; WOODS, 2000).

Este processo rotula cada pixel como sendo uma região distinta. A partir daí são agrupados os pixels com valores de similaridade inferiores ao limiar definido pelo usuário, baseado em um teste de hipótese estatístico realizado com as médias entre as regiões. Com isto a imagem é fragmentada em sub-imagens, as quais são reagrupadas a seguir, segundo um limiar de agregação (tamanho mínimo aceitável para uma sub-região), definido também pelo usuário.

O algoritmo de segmentação por crescimento de regiões disponível no SPRING depende da definição das duas variáveis, grau de similaridade e tamanho mínimo para o estabelecimento de uma região.

5.2 Classificação de Imagens

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, onde cada "pixel" tem as coordenadas espaciais x , y e a coordenada espectral L , que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral. Cada "pixel" de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro "pixel", em todas as outras bandas, ou seja para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados à cada "pixel", sendo um para cada banda espectral.

O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo "atributos espectrais". Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.

Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser ainda separados em métodos estatísticos (que utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (que não o fazem).

Classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura.

O processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza, em cada banda espectral, em um pequeno número de classes em uma única imagem.

As técnicas em que o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza, em vários canais espectrais, são definidas como técnicas de classificação multiespectral.

As técnicas de classificação multiespectral , "pixel a pixel", mais comuns são: máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo.

O primeiro passo em um processo de classificação multiespectral é o treinamento, que é o reconhecimento da assinatura espectral das classes.

Existem basicamente duas formas de treinamento: supervisionado e não-supervisionado. Quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito supervisionado, onde é identificada na imagem uma área representativa de cada classe.

Quando são utilizados algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem, o treinamento é dito não-supervisionado, onde as áreas escolhidas devem ser heterogêneas para assegurar que todas as possíveis classes e suas variabilidades sejam incluídas.

Os pixels dentro de uma área de treinamento são submetidos a um algoritmo de agrupamento (*clustering*) que determina o agrupamento do dado, numa feição espacial de dimensão igual ao número de bandas presentes. Este algoritmo assume que cada grupo (*cluster*) representa a distribuição de probabilidade de uma classe (INPE, 2003).

5.2.1 Classificação de Imagens Segmentadas - Classificadores por regiões

No SPRING o classificador Ioseg é um dos algoritmos disponíveis para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância, e também pela área.

Um algoritmo de *clustering* não supõe nenhum conhecimento prévio da distribuição de densidade de probabilidade dos temas, como ocorre no algoritmo de máxima verossimilhança. É uma técnica para classificação que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas. A medida de similaridade utilizada consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com esta classe.

A distância Mahalanobis, introduzida por P. C. Mahalanobis em 1936 é definida como uma medida de distância baseada em correlações entre variáveis, onde diferentes padrões podem ser identificados e analisados em relação a uma base ou um ponto de referência. É superior à distância euclidiana, pois leva em conta a correlação ente as variáveis.

É um método muito utilizado para se determinar a similaridade entre um conjunto de amostras "desconhecidas" e amostras "conhecidas" ou de referência. Sendo a distância Mahalanobis medida em termos do desvio padrão da média da amostra de treinamento, os valores combinados dão uma medida estatística do quanto o conjunto das amostras "desconhecidas" combinam (ou não) com a amostra de referência (THERMO GALACTIC, 2003).

O algoritmo Iseseg utiliza os atributos estatísticos das regiões: a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe. Este algoritmo resume-se em três etapas, descritas a seguir.

- 1. Definição do limiar:** É definido um limiar de aceitação, dado em percentual. Este limiar por sua vez define uma distância de Mahalanobis, de forma que todas regiões pertencentes a uma dada classe estão distantes da classe por uma distância inferior a esta. Quanto maior o limiar, maior esta distância e conseqüentemente menor será o número de classes detectadas pelo algoritmo.
- 2. Detecção das classes:** As regiões são ordenadas em ordem decrescente de área e inicia-se o procedimento para agrupá-las em classes. São tomados como parâmetros estatísticos de uma classe (média e matriz de covariância), os parâmetros estatísticos da região de maior área que ainda não tenha sido associada a classe alguma. Em seguida, associa-se a esta classe todas regiões cuja distância de Mahalanobis for inferior a distância definida pelo limiar de aceitação. Assim, a primeira classe terá como parâmetros estatísticos aquelas regiões com maior área. As classes seguintes terão parâmetros estatísticos de média das regiões de maior área, que não tenham sido associada a nenhuma das classes previamente detectadas. Esta fase repete-se até que todas regiões tenham sido associadas a alguma classe.
- 3. Competição entre classes:** As regiões são reclassificadas, considerando-se os novos parâmetros estatísticos das classes, definidos na etapa anterior.

A fase 2 consiste basicamente na detecção de classes, sendo um processo seqüencial que pode favorecer as classes que são detectadas em primeiro lugar. Com vista a eliminar este "favorecimento", procede-se à competição entre classes. Esta competição consiste em reclassificar todas as regiões. O parâmetro estatístico (A média de cada classe é então recalculada). O processo repete-se até que a média das classes não se altere (convergência).

Ao término, todas regiões estarão associadas á uma classe definida pelo algoritmo. (INPE, 2003).

Neste trabalho, foram feitas várias aproximações, até a obtenção de um nível de fragmentação da imagem considerado adequado para o estudo. Sob a imagem segmentada, foi aplicada a classificação supervisionada.

5.3 Álgebra de Mapas

A Álgebra de Mapas é uma ferramenta poderosa para a correta análise e manipulação de dados espaciais. O conceito de álgebra de mapas pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores onde as variáveis manipuladas são campos geográficos.

A modelagem cartográfica proposta por Tomlin (1990) apresenta o mapeamento de camadas (*layer mapping*), onde o objetivo é a execução de uma seqüência de operações num conjunto de mapas. Cada camada (*layer*) é constituída por zonas, que são contituidos por locais que são constituídos por um par de coordenadas.

Sobre um conjunto de mapas pode-se aplicar uma variedade de operações, de forma a combinar-los e obter novos mapas. Na grande maioria, essas operações envolvem a combinação de mapas por funções booleanas e a aplicação de funções específicas. Essas funções podem medir, procurar ou reclassificar os dados e podem ser conceituadas de duas maneiras diferentes. Exemplos de medidas incluem soma, média, diferença, razão, desvio padrão, variedade (cardinalidade), etc. A três classes principais de transformações em Álgebra de Mapas são:

- Local - locais individuais ou posição coincidente. As transformações locais operam sobre campos de modo que o efeito resultante sobre cada ponto é independente dos valores de pontos vizinhos. Os casos mais simples dessas transformações são as operações matemáticas e a aplicação de lógica booleana. Muitas outras transformações mais complexas podem ainda ser classificadas como locais.
- Zonal - zonas ou relacionada tematicamente. Essa classe de transformações se relaciona-se com as propriedades da zona (região), a qual um certo ponto pertence, (comprimento, área, perímetro, forma, etc), sobre uma zona definida em outro mapa. Por exemplo, na geração de um mapa que apresente Cobertura Vegetal num conjunto zonas que subdividem uma área de estudo, o tema Uso do Solo é usado como

referencia para extração da propriedade e o tema Municípios para definição das zonas envolvidas.

Focal - vizinhança de locais ou relacionada espacialmente. Essa classe de transformações relaciona um ponto a sua vizinhança. São funções que explicitamente fazem uso de alguma espécie de associação espacial para determinar um valor para um ponto em um novo mapa. Na maioria as vezes, implementam filtragens, medidas de diversidade, declividade, aspecto etc, sendo muito aplicadas em Processamento de Imagens.

6 MATERIAIS

Para a elaboração deste trabalho foram utilizadas cartas em formatos vetoriais já existentes e Imagem Landsat ETM.

- Imagem Landsat ETM de 30/10/2001, 7 bandas, resolução de 15 m. Fonte: Depto. de Cartografia -IGC;
- Fotografias aéreas coloridas do município de Brumadinho, em escala aproximada de 1:8.000 a 1:10.000 de 1997. Fonte: Depto. de Cartografia -IGC;
- Carta topográfica: Folha Brumadinho (SF-23-X-A-II-2), escala 1:50.000, IBGE, 1976;
- Curvas de nível do município de Brumadinho digitalizadas a partir da Série IGA, 1981, escala 1:25.000, formato DGN. Fonte: Depto. de Cartografia - IGC;
- Rede hidrográfica da microbacia do Ribeirão da Casa Branca digitalizada a partir da Série IBGE, 1980, escala 1:50.000, formato DGN, Fonte: IGAM;
- Software MICROSTATION 95;
- Software ARCGIS 8.3;
- Software SPRING 4.0;
- Software IDRISI.

7 ROTEIRO METODOLÓGICO

- Levantamento de dados bibliográficos sobre a área de estudo;
- Aquisição de Imagem Landsat;
- Processamento da Imagem (segmentação e classificação);
- Aquisição de mapas hidrográficos e topográficos;
- Elaboração do mapa de declividades;
- Álgebra de Mapas para a identificação das APPs;
- Elaboração dos mapas de Uso do Solo para a área de estudo e APPs;
- Elaboração do Mapa Diagnóstico, tabelas e gráficos.

8 MAPAS DIAGNÓSTICO

As Áreas de Preservação Permanente aplicáveis à área de estudo e objeto deste trabalho são:

1. As áreas ao longo dos cursos d'água constituídas por 30 m de margens medidas horizontalmente a partir do leito maior sazonal;
2. As áreas num raio de 50m em nascentes, ainda que intermitente, em qualquer situação topográfica;
3. As áreas nos topos de morros montes ou montanhas, delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura da elevação em relação à base;
4. As áreas nas encostas ou parte delas, com declividade igual ou superior a cem por cento ou 45° na sua linha de maior declive.

Foram gerados os Mapas Diagnóstico para essas quatro APPS, sendo descritos e apresentados a seguir.

8.1 Imagem Landsat

A imagem Landsat no formato ERS foi convertida no IDRISI, para TIFF e depois para o formato GRIB no IMPIMA, de forma a ser trabalhada no SPRING. O geo-referenciamento da imagem foi feito a partir 12 pontos de controle adquiridos em feições localizadas e distribuídos de maneira uniforme no mapa da rede hidrográfica do município de Brumadinho. Sendo o objetivo identificar cobertura vegetação, foi escolhido trabalhar-se com a composição RGB 345 e nessa composição foi aplicado um contraste linear, conforme mostra a Figura 2.



Figura 2 - Imagem Landsat da microbacia

8.2 Imagem Segmentada

A imagem Landsat foi segmentada utilizando-se o algoritmo Crescimento de Regiões com os seguintes parâmetros: Similaridade = 2, Área = 10. Com estes parâmetros foi obtido um número elevado de áreas segmentadas, apesar de requerer maiores recursos e tempo de processamento.

8.3 Imagem Classificada

No SPRING, sobre a imagem segmentada foi aplicada a classificação não supervisionada Isoseg, com um limiar de aceitação de 90%. O resultado foi uma imagem classificada em

51 regiões. A Figura 3 mostra a imagem classificada acoplada à imagem fotográfica utilizada para a discriminação das classes temáticas.

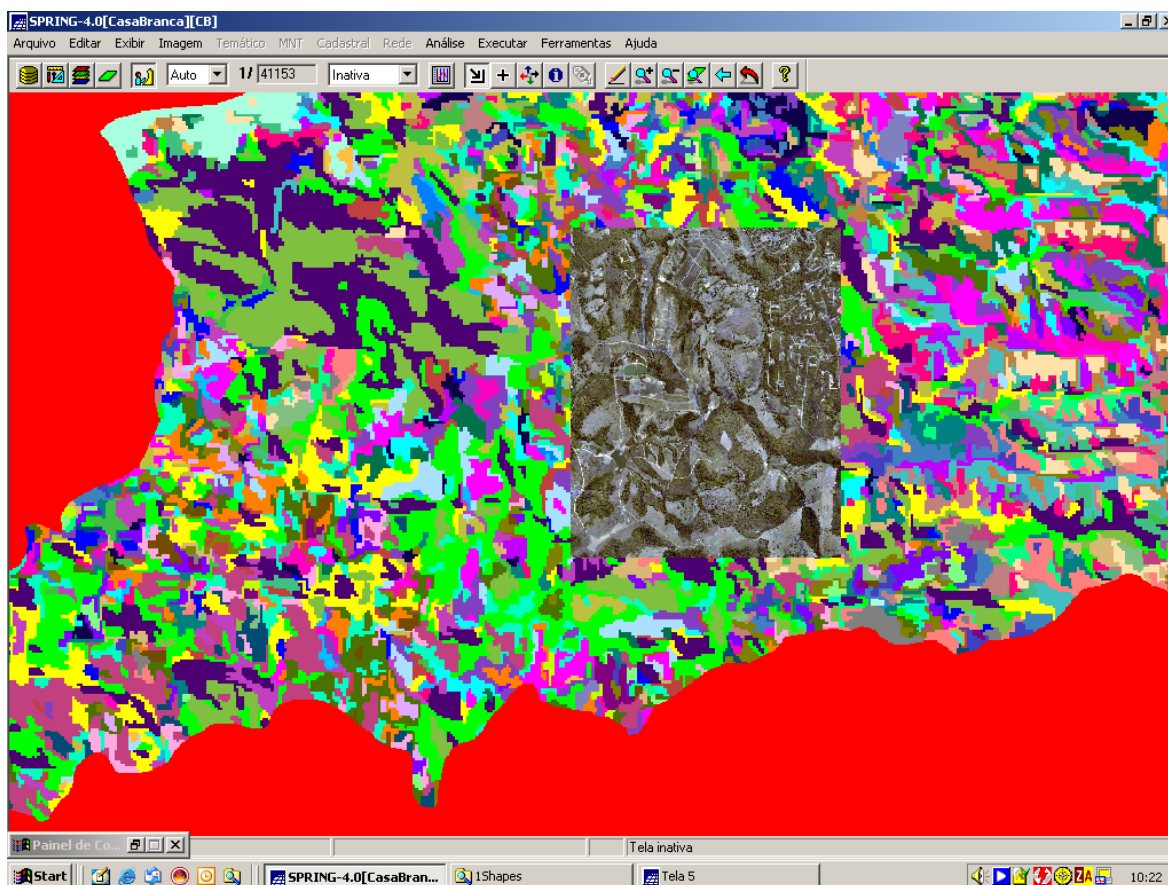


Figura 3 - Imagem classificada e uso da imagem fotográfica acoplada para classificação de temas

Foi acoplada da mesma maneira a imagem de satélite, de forma a se obter uma melhor discriminação das classes temáticas. As 51 classes geradas foram analisadas junto com a imagem Landsat e fotografia acopladas e foram agrupadas em 6 classes temáticas: Área Degradada; Campo, Mineração; Solo; Solo Exposto e Vegetação.

A dificuldade maior foi a classificação das áreas de sombras topográficas presentes nas encostas de montanhas. Para diminuir o efeito topográfico foram aplicadas na imagem operações de ganho e offset, bem como transformação RGB-IHS-RGB. Nenhuma dessas operações apresentaram resultados significativos e desta forma utilizou-se como critério de classificação das áreas de sombra a sua vizinhança (na maioria das vezes Campo ou Solo) com classes já discriminadas.

Foram ainda identificadas na imagem, 12 pequenas lagoas, sendo que não foi possível discriminar esses corpos d'água das sombras topográficas por apresentarem a mesma

assinatura espectral. Desta forma, as lagoas foram identificadas na imagem e vetorizadas em um plano de informação no SPRING. Esse plano e a imagem classificada foram exportados como *shapefile* para serem trabalhados no ARCGIS, onde foi feita a operação de *merge* desses dois mapas resultando no mapa final do Uso do Solo na microbacia, conforme apresentado na Figura 4.

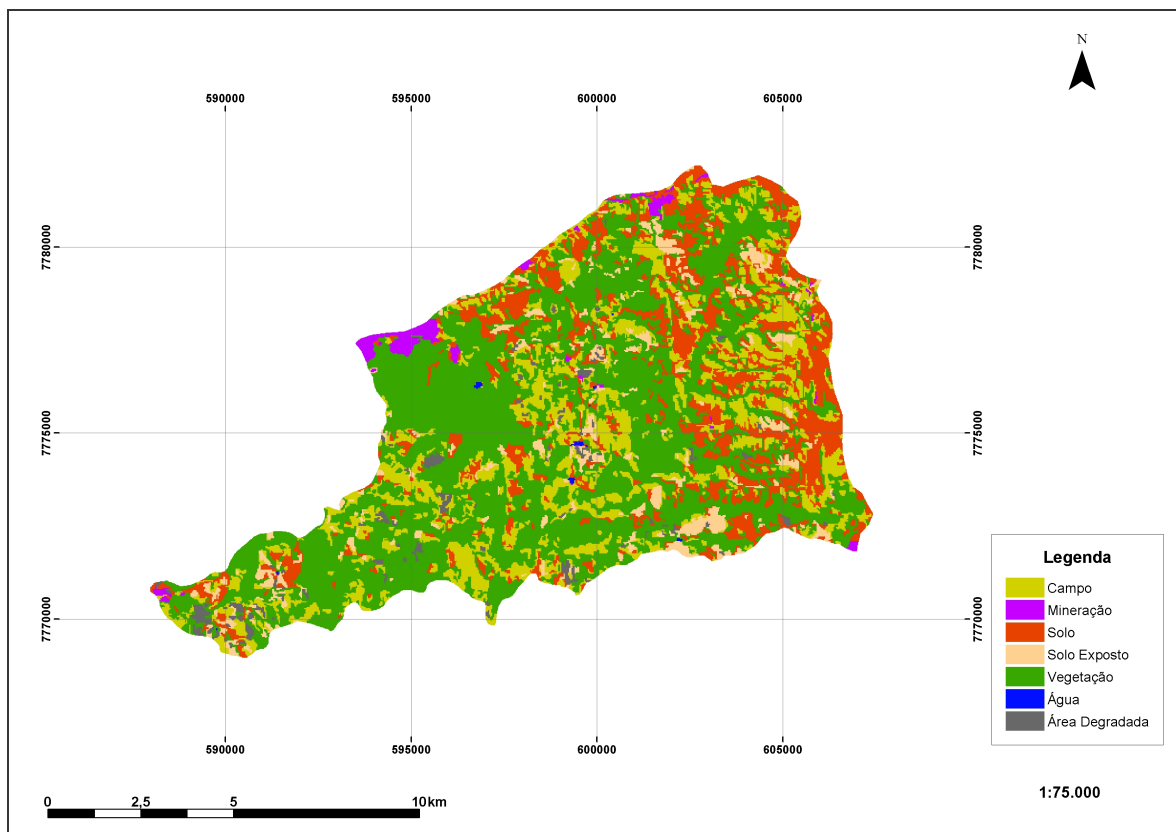


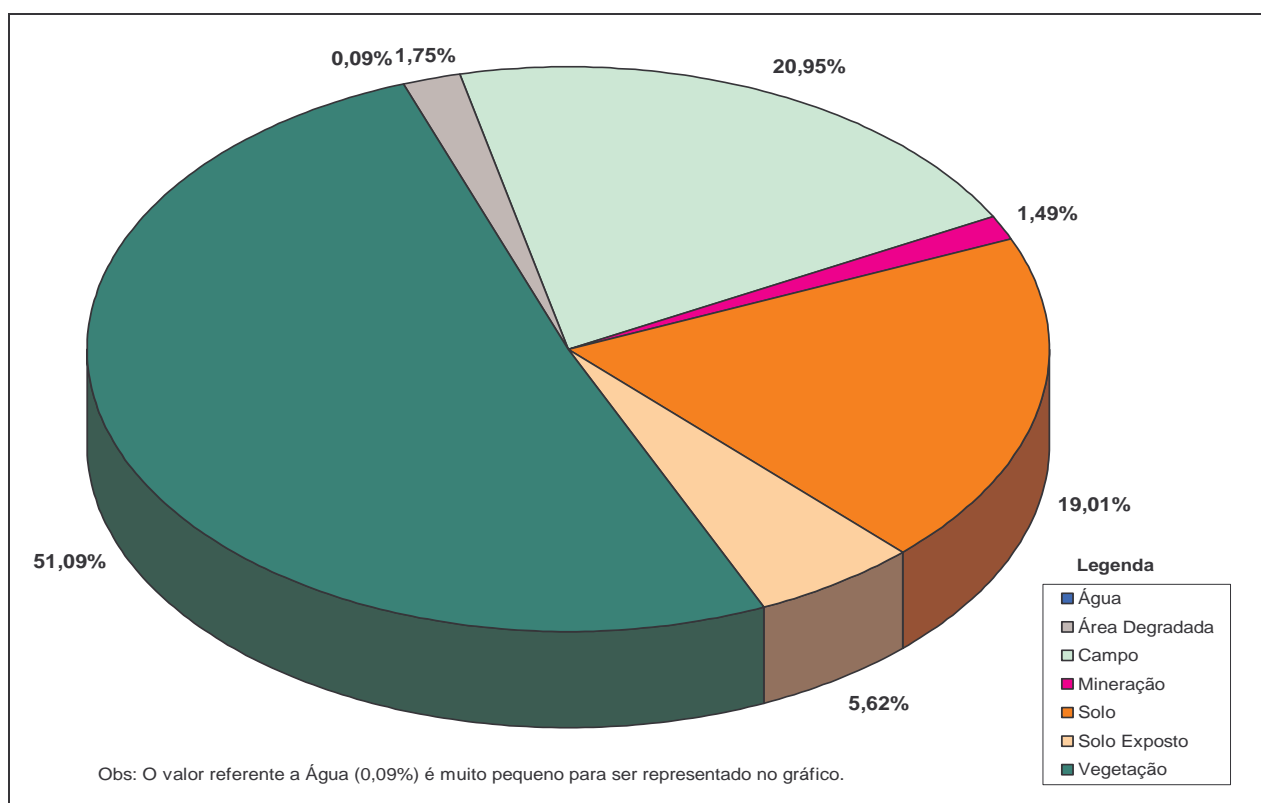
Figura 4- Mapa Temático do Uso do Solo

As áreas por classe de Uso do Solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Uso de Solo na microbacia

Uso do Solo	Área (ha ²)	Percentual
Água	11,43	0,09
Área Degradada	218,59	1,75
Campo	2.622,47	20,95
Mineração	185,98	1,49
Solo	2.379,36	19,01
Solo Exposto	703,47	5,62
Vegetação	6.394,14	51,09
Total	12.515,43	100,00

Gráfico 1 Uso do Solo na microbacia



8.4 Declividades

Para a obtenção das Áreas de Preservação Permanente em topos de morros e encostas com mais de 45° de declividade foi gerado no ARCGIS o MNT (modelo numérico de terreno) e os mapas temáticos de declividades e hipsométrico apresentados nas Figuras 5 e 6.

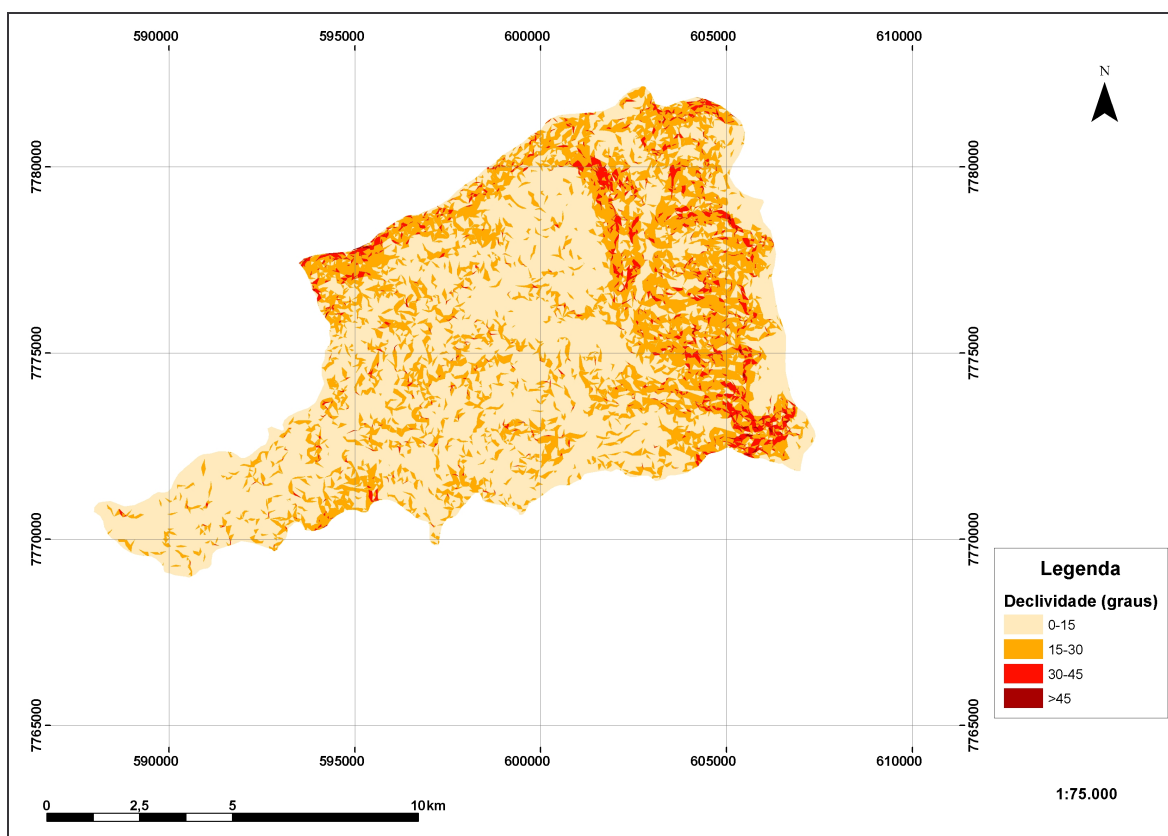


Figura 5 - Mapa Temático de Declividades

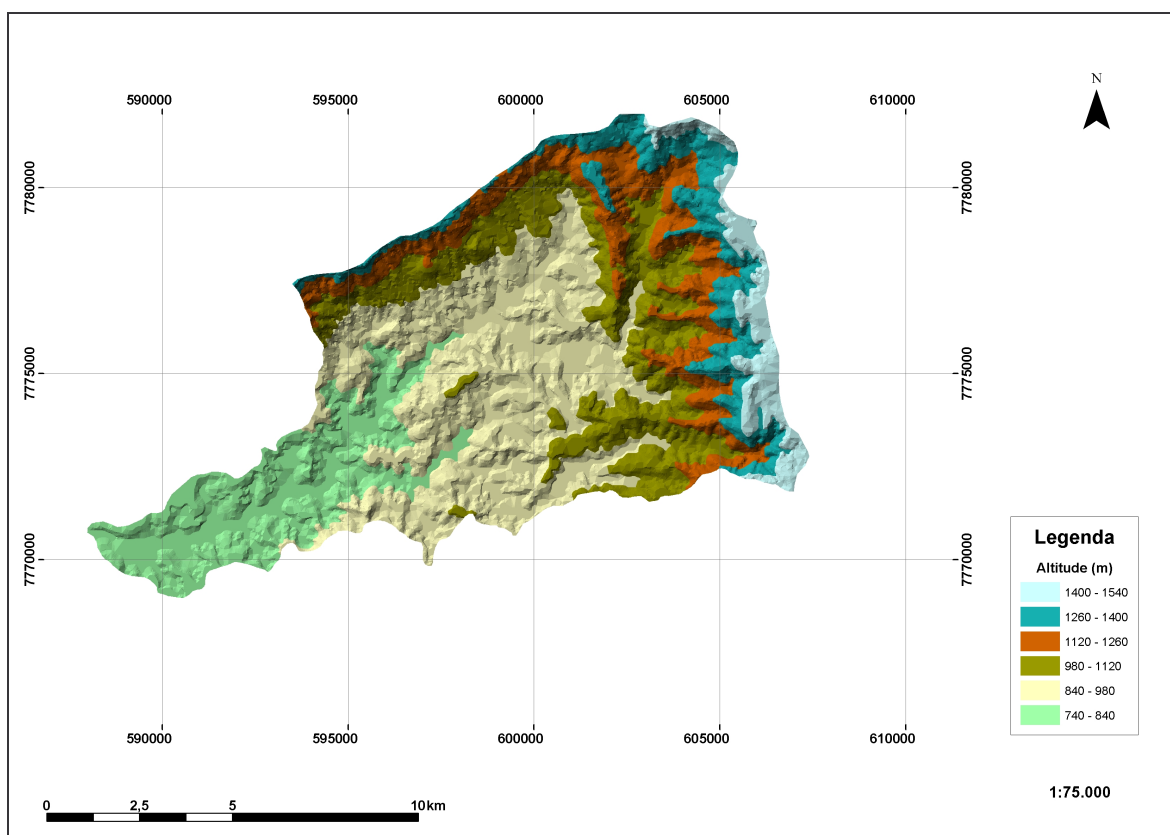


Figura 6 - Mapa Hipsométrico

8.5 Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente

8.5.1 Rios e Lagoas

Na Figura 7 temos a rede hidrográfica da microbacia acrescida das 12 lagoas com a identificação dos principais cursos d'água.

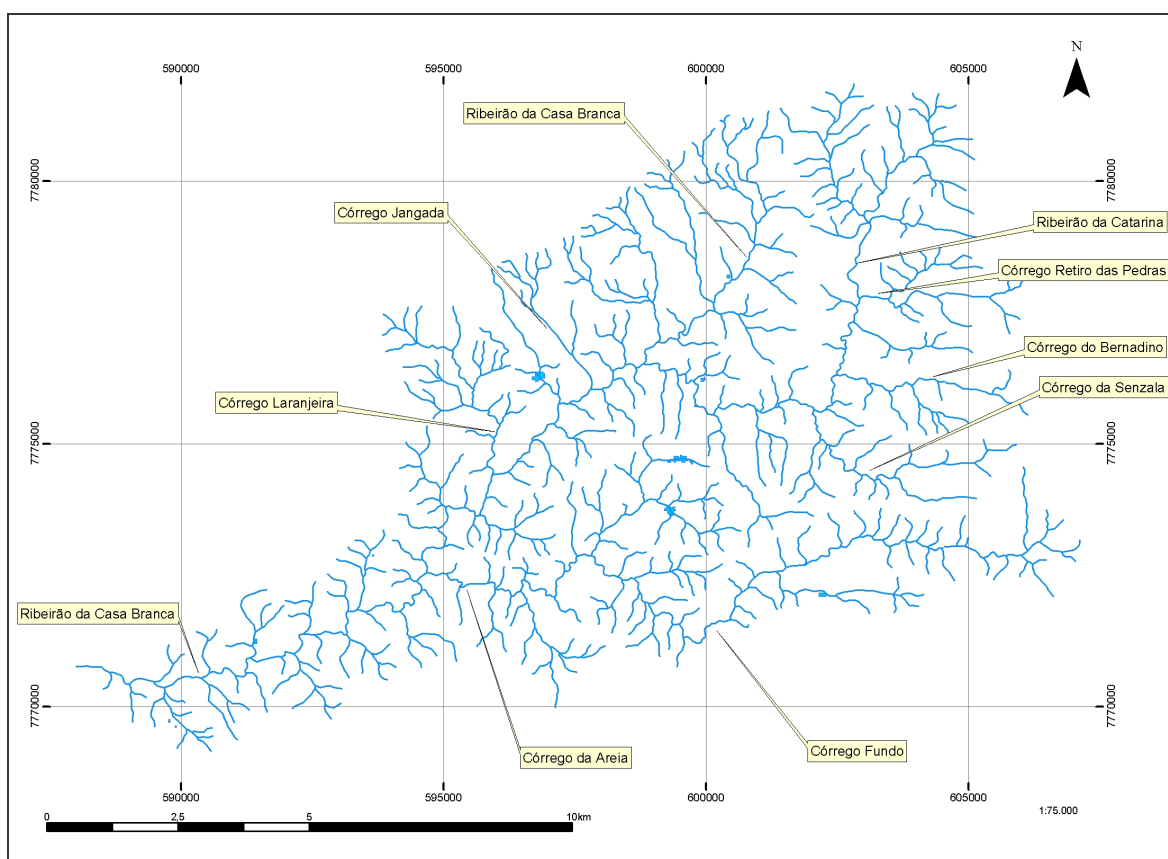


Figura 7 – Rede Hidrográfica da microbacia do Ribeirão da Casa Branca

Sobre este mapa foi executada no ARCGIS a operação de *buffer* (mapa de distância) para uma distância de 30 m para se determinar a APP. Uma vez obtido o mapa do *buffer* foi feita gerado o mapa diagnóstico apresentado na Figura 10, obtido pela interseção do *buffer* com o mapa de Uso do Solo (Figura 4).

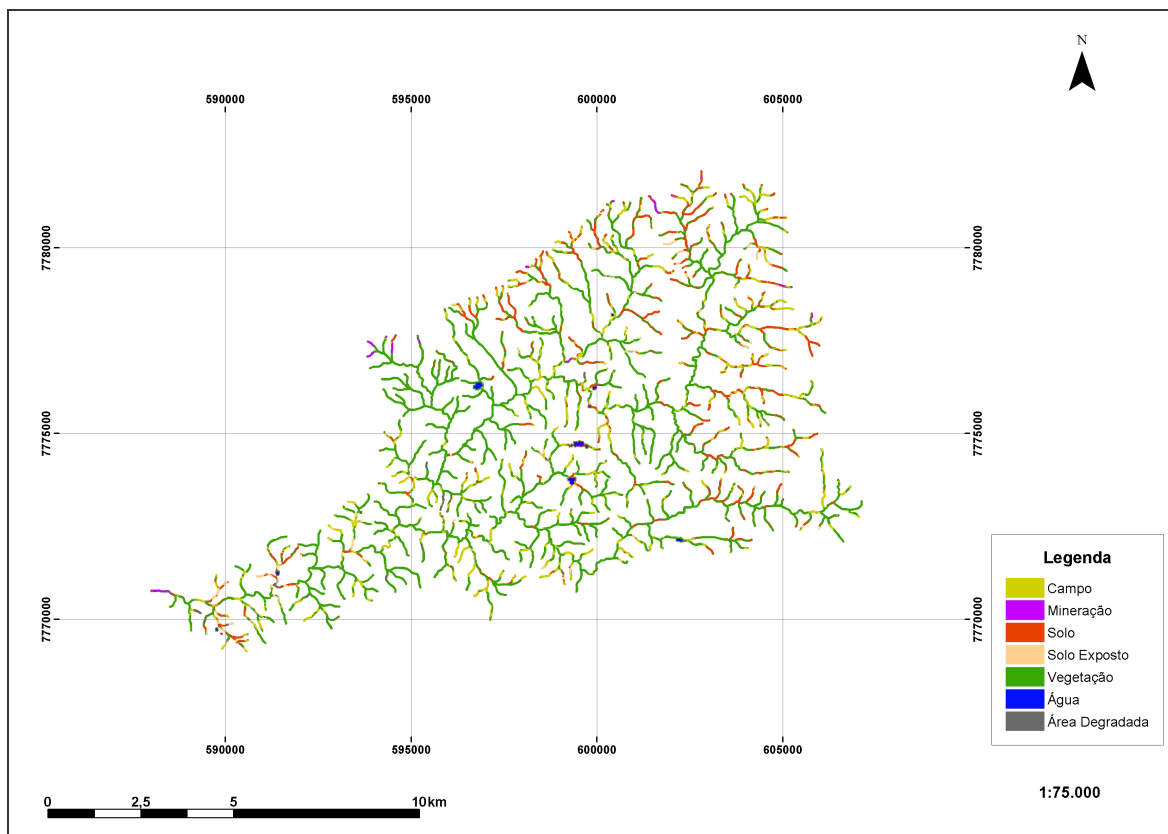


Figura 8 – Uso do Solo na APP dos corpos d'água

8.5.2 Nascentes

No ARCGIS, sobre a mapa da rede hidrográfica foi construído um mapa com as nascentes. Foram identificadas 364 nascentes. Sobre este mapa foi executada a operação de *buffer* para uma distância de 50 m para se determinar a APP das nascentes. Uma vez elaborado o mapa do *buffer*, foram gerados os mapas diagnósticos obtidos pela interseção deste com o mapa de Uso do Solo (Figura 4) e apresentados nas Figuras 9, 10, 11 e 12,

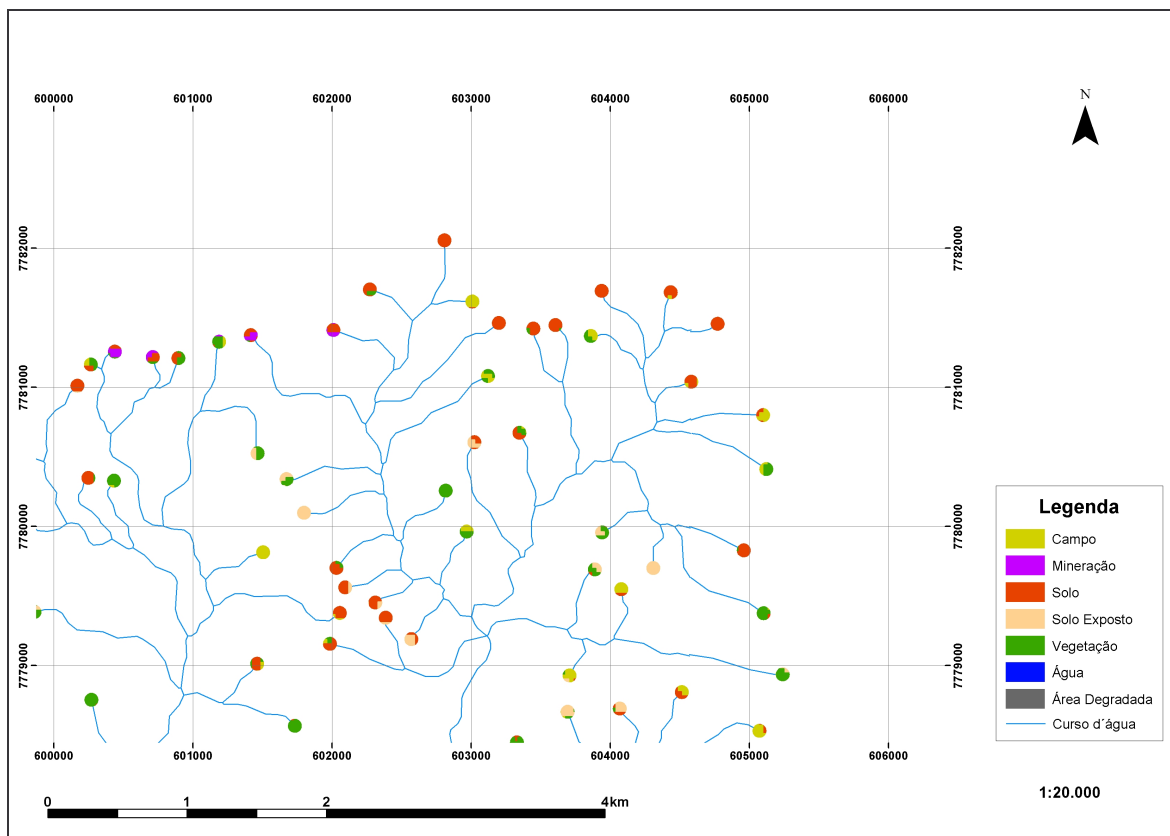


Figura 9 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante superior direito

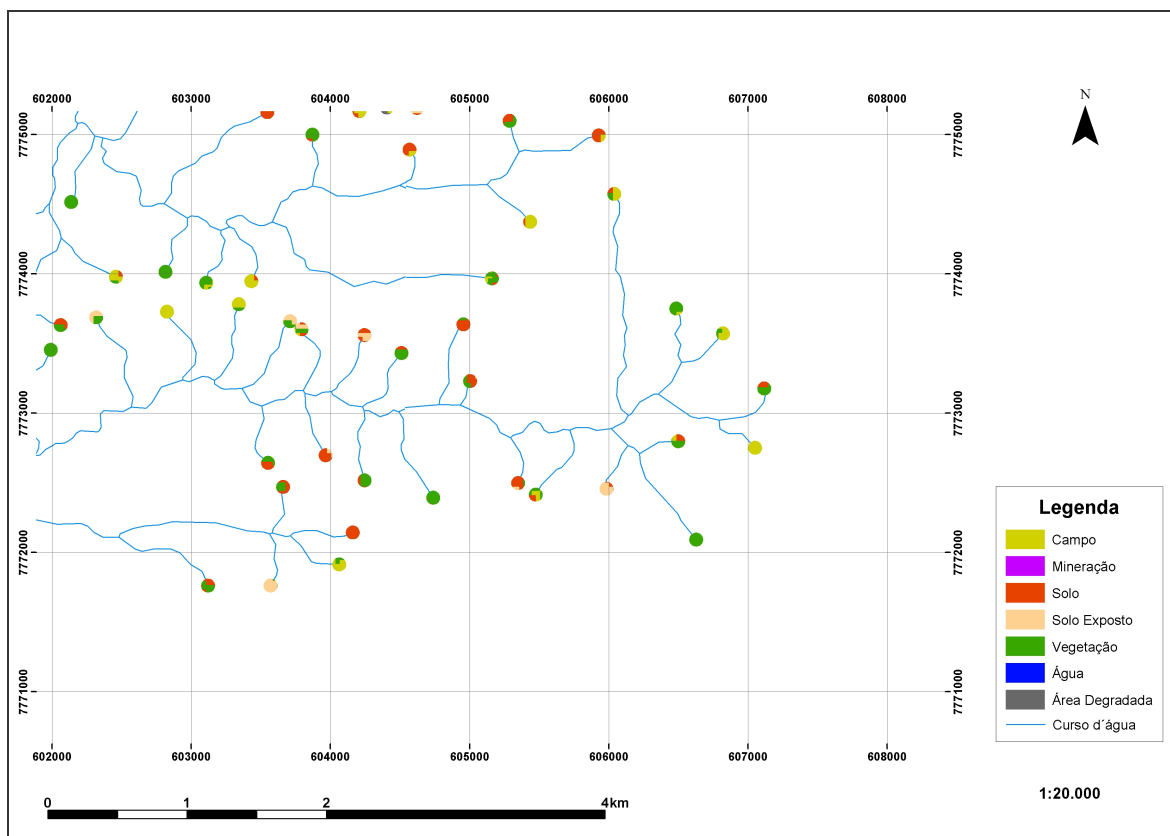


Figura 10 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante inferior direito

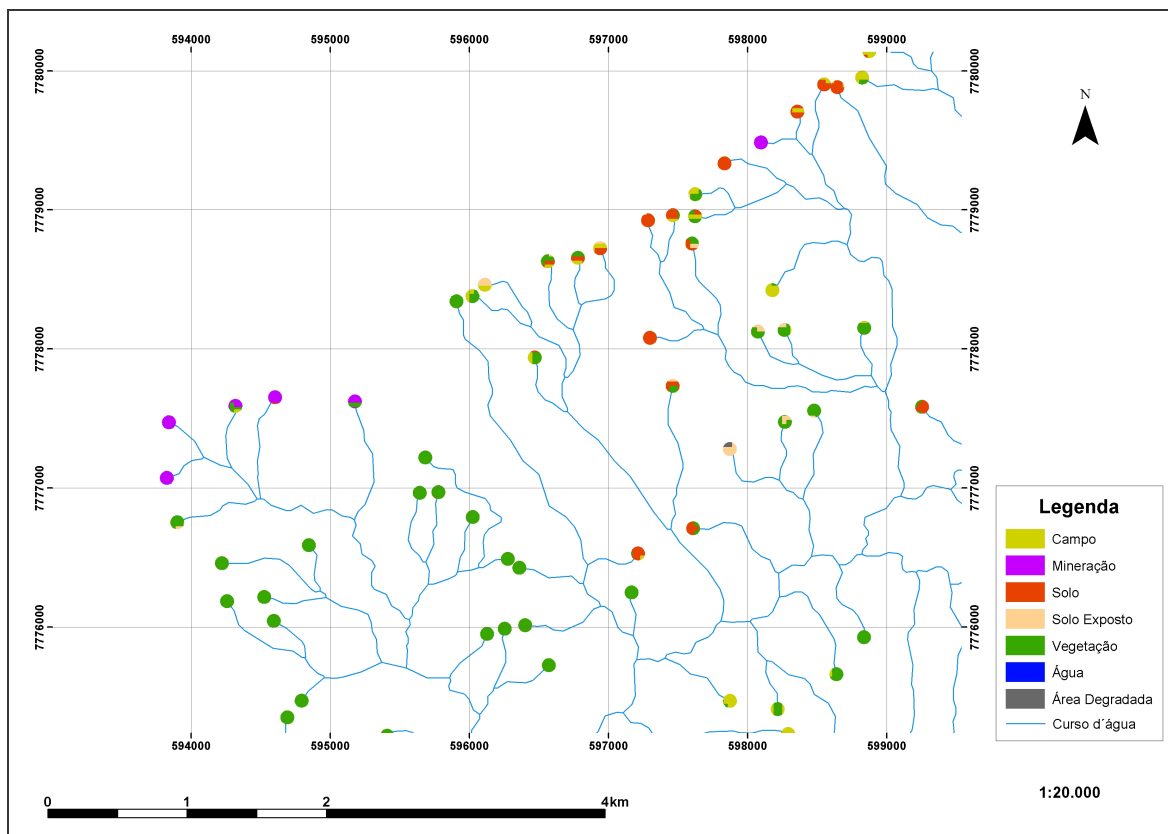


Figura 11 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante inferior esquerdo

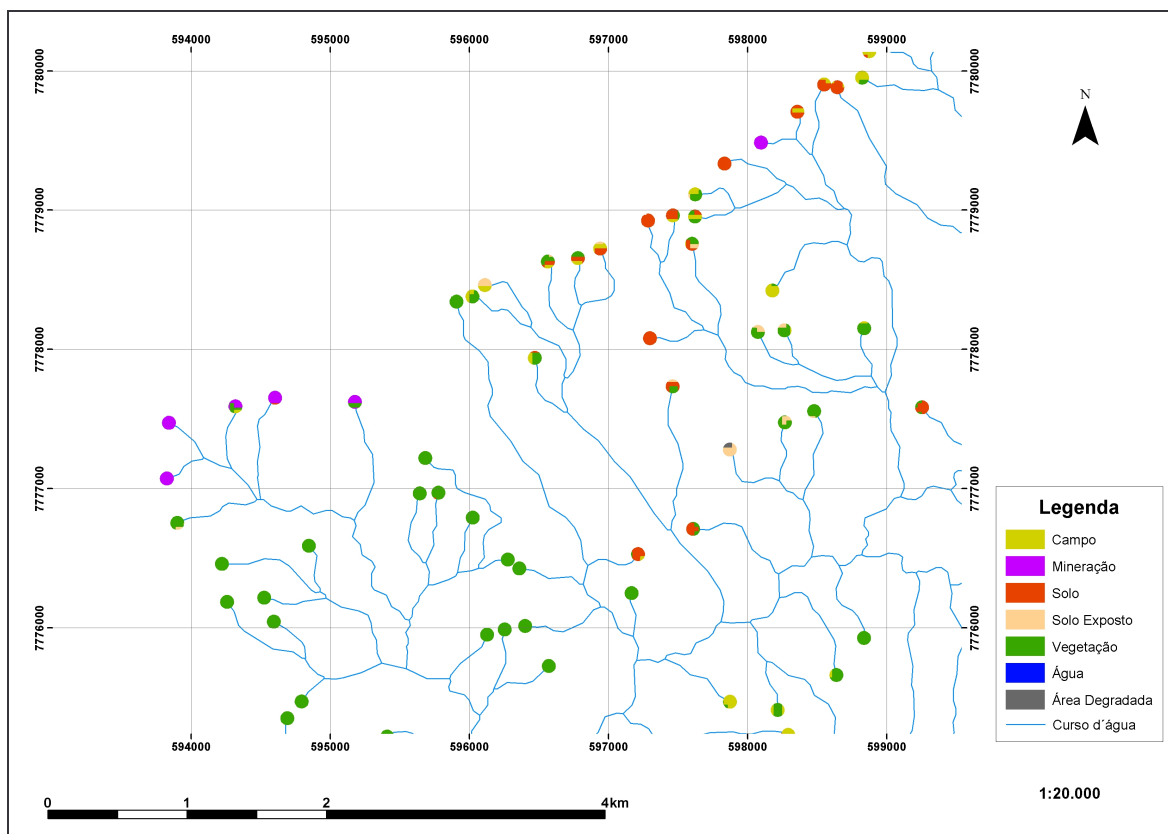


Figura 12 – Uso do Solo na APP das nascentes – quadrante superior esquerdo

8.5.3 Topos de Morros

A definição de topo de morro é dada na resolução n^o 04 de 18 de setembro de 1985. Nesta resolução, no artigo 2, morro ou monte é definido como:

“Elevação do terreno com cota do topo em relação à base entre 50 (cinquenta) a 300 (trezentos) metros e encostas com declividade superior a 30% (aproximadamente 17^o) na linha de maior declividade. Monte se aplica de ordinário a elevações isoladas na paisagem.”

No artigo 3 dessa resolução é definido o critério para a determinação da área de Preservação Permanente em topo de morros:

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

O SPRING possui uma ferramenta que faz a extração dos topos:

“O objetivo desta ferramenta é auxiliar o usuário na definição das áreas de preservação no topo de morros como definidas acima. Utilizando uma grade regular de elevação como suporte, o usuário pode selecionar o ponto máximo de um morro e o ponto mínimo (na base do morro). A partir dos pontos de máximo e mínimo selecionados, o sistema calcula o valor de cota correspondente a dois terços do máximo e gera uma isolinha com este valor de elevação. A linha gerada é armazenada em Plano de Informação temático previamente selecionado (INPE, 2003)”.

No SPRING, a partir das curvas de nível foram identificados os topos (cota do topo em relação à base entre 50 a 300 m) e geradas as isolinhas conforme descrito acima. Foram identificados 11 topos, e o plano de informação foi exportado como *shapefile* para a ARCGIS. Foi feita a interseção deste mapa com o mapa de declividades de forma a identificar os morros com declividades superiores a 30% nas encostas, sendo que 2 topos não satisfazem este critério e foram excluídos como APP. A Figura 13 mostra a declividade dos topos obtidos e são indicados com setas aqueles excluídos. Foi feita a interseção desse mapa com o mapa Uso do Solo (Figura 4), sendo obtido o uso do solo nos topos (Figura 14).

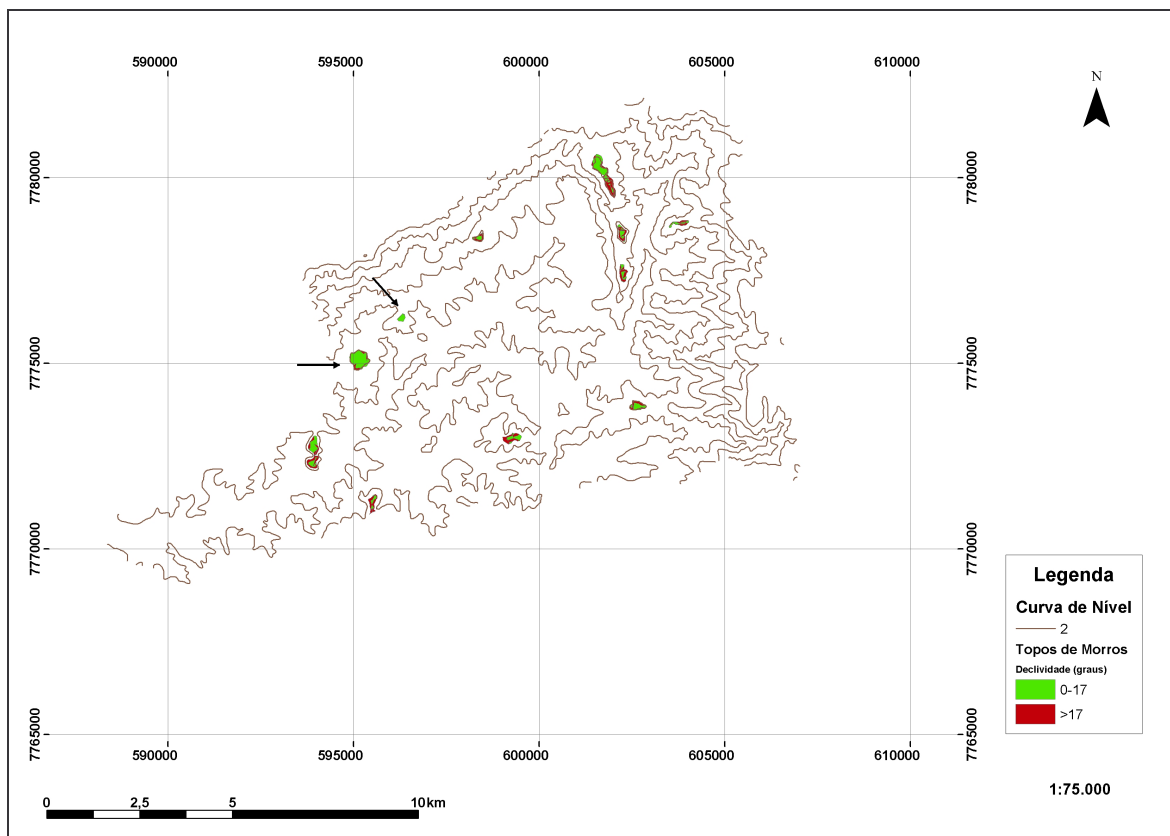


Figura 13 – Topos de Morros

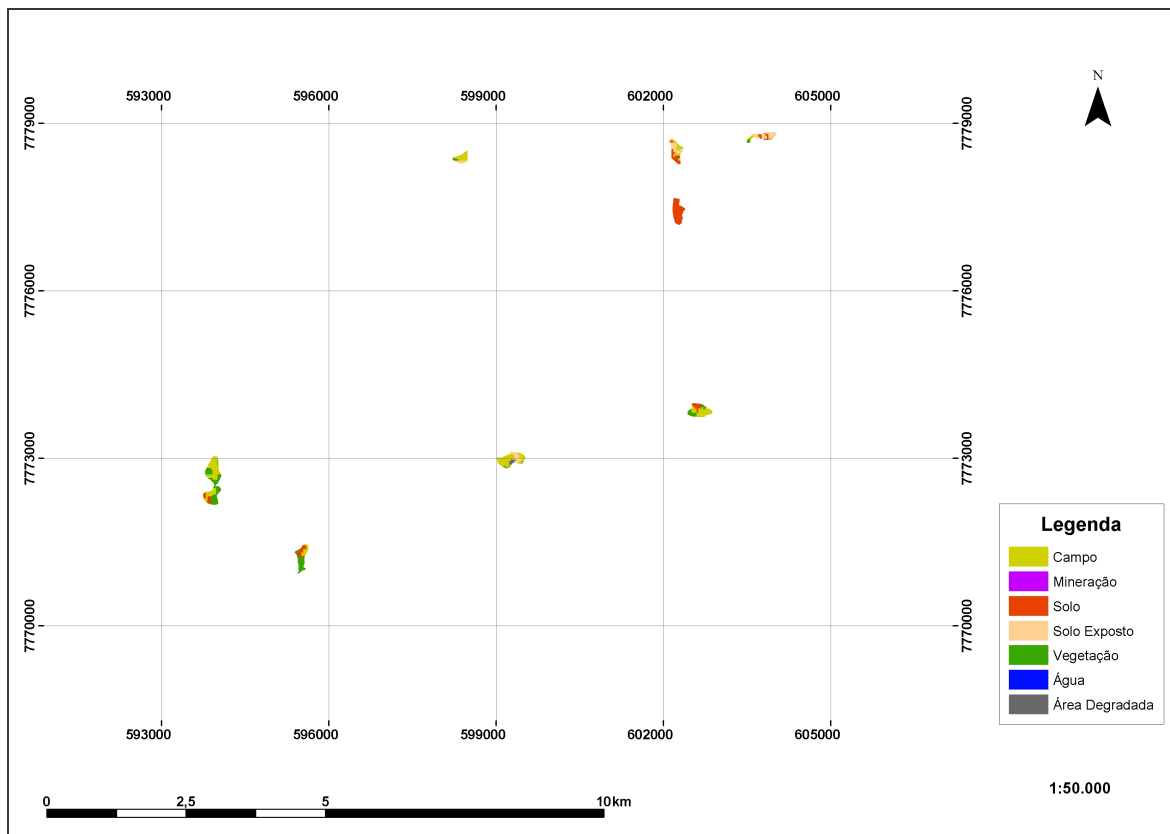


Figura 14 – Uso do Solo nos Topos de Morros

8.5.4 Encostas com declividade maior que 45°

No ARCGIS foi feita a interseção do mapa de Declividades e Uso do Solos de forma a se obter o mapa de Uso do Solo nessa APP (Figura 15).

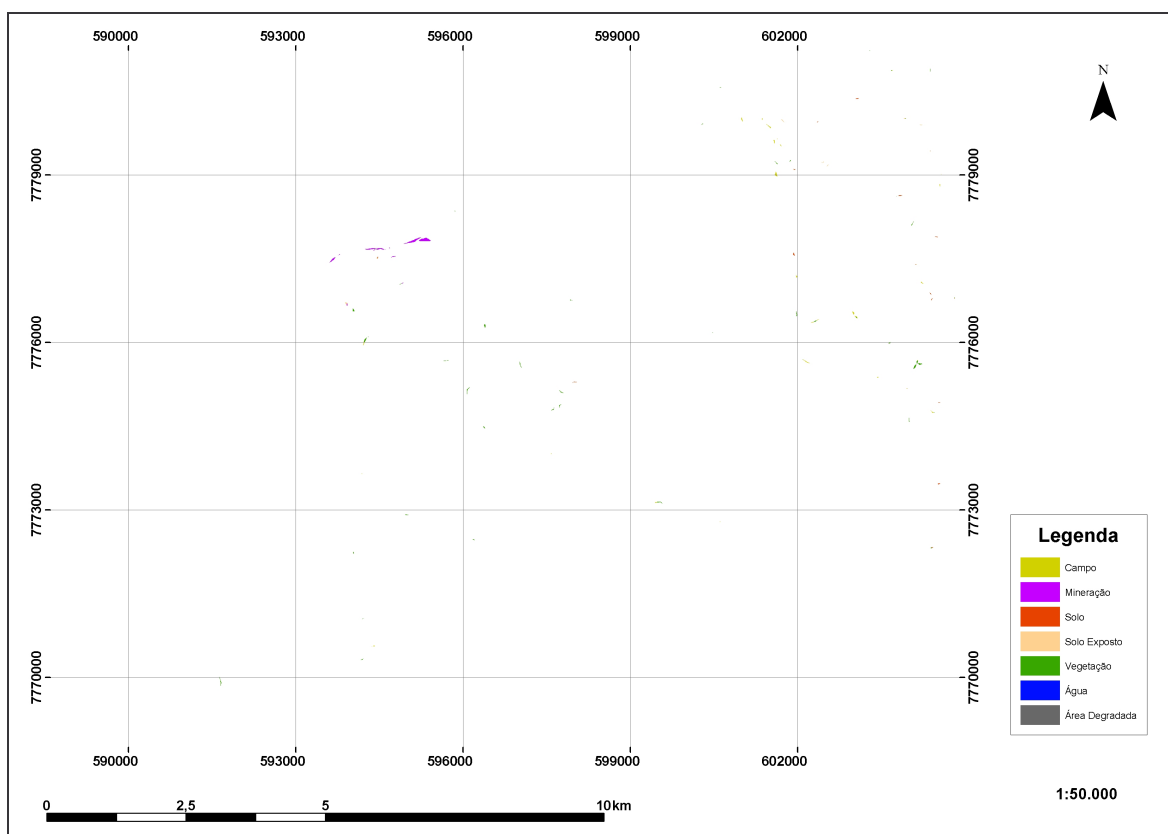


Figura 15 – Uso do Solo nas encostas com declividades maior que 45°

9 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Tabela 2 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da Microbacia

Tipo de Uso	Área das APPs (ha2)				Total
	Nascentes	Topos	Rios	> 45°	
Área Degradada	6,12	0,92	23,95	0,16	31,14
Campo	65,14	26,62	379,62	4,72	476,10
Mineração	5,72	0,00	19,94	2,39	28,04
Solo	57,03	20,39	328,64	1,87	407,92
Solo Exposto	22,74	24,43	69,74	0,41	117,31
Vegetação	132,58	16,72	1.328,54	7,43	1.485,27
Total	289,32	79,89	2.150,43	16,97	2.536,61

Gráfico 2 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da Microbacia

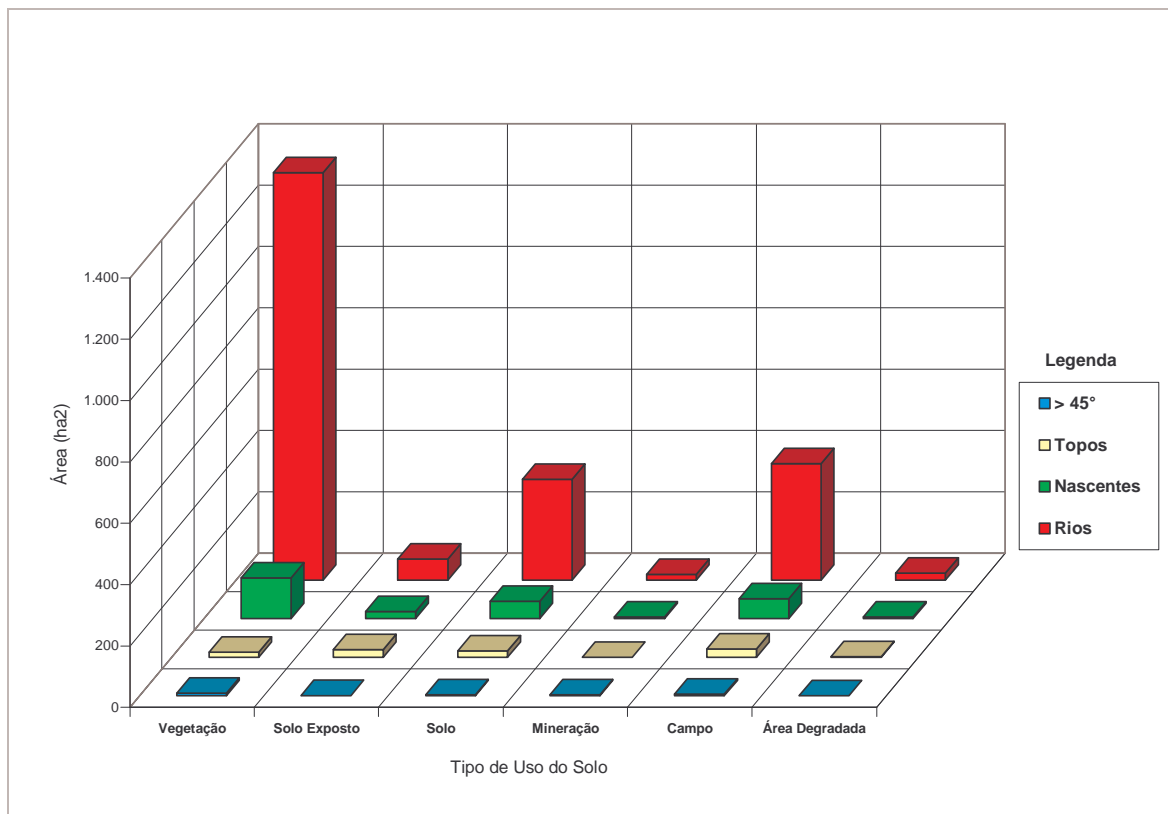
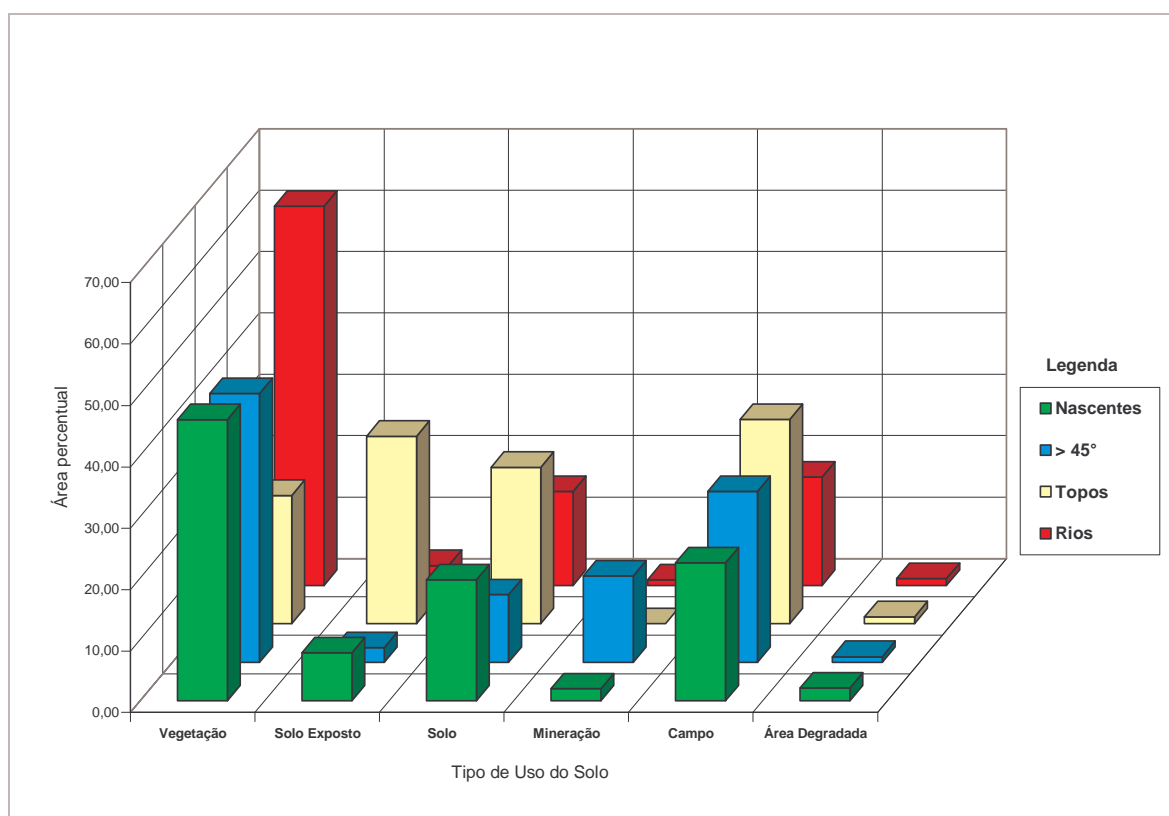


Tabela 3 - Uso do Solo em valores percentuais nas Áreas de Preservação Permanente da Microbacia

Uso do Solo	Área das Apps (%)				Total
	Nascentes	Topos	Rios	> 45°	
Área Degradada	2,11	1,15	1,11	0,93	1,23
Campo	22,52	33,32	17,65	27,82	18,77
Mineração	1,98	0,00	0,93	14,07	1,11
Solo	19,71	25,52	15,28	11,01	16,08
Solo Exposto	7,86	30,58	3,24	2,39	4,62
Vegetação	45,83	20,93	61,78	43,77	58,55
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Gráfico 3 - Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente da Microbacia

Podemos verificar a grave situação da cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente, onde as matas ciliares constituem apenas 61,28% da área prevista como preservação, sendo que 1,11% ocupadas por Mineração e 0,93% são Área Degradada, somando 2,04% de uso extremamente prejudicial.

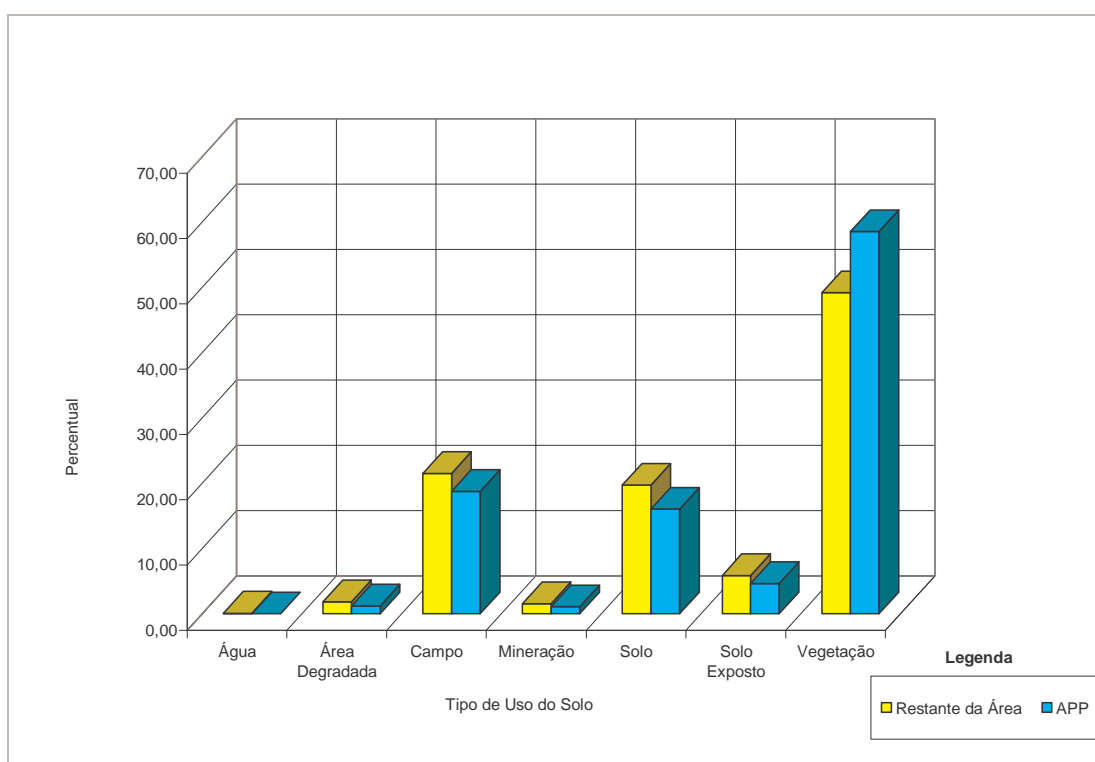
Quanto às nascentes a situação é mais grave ainda, pois a vegetação está presente em apenas 45,83% da área legal e 1,98% constituem Mineração e 2,11% Área Degradada, somando 4,09%. Como o mapa da rede hidrográfica é de 1980 (digitalizada a partir da Série IBGE, 1980), podemos inferir que muitas nascentes não mais existem e consequentemente os seus cursos d' água.

Com relação aos topos de morros a cobertura vegetal por matas é de apenas 20,93% e de 33,32% por campos. O percentual de Solo Exposto é muito grande (30,58%) o que realça a ocupação nociva dessas formações.

As áreas das encostas com delividades acima de 45° possuem 43,77% de matas e 27,82% de campos. A ocupação por mineração é de 14,07% da área, valor bastante expressivo, somando-se mais como mais um indicador dos danos dessa atividade ao meio ambiente.

O Gráfico 4 apresenta uma comparação do Uso do Solo entre as APPs e o restante da área. A distribuição percentual por tipo de uso é praticamente a mesma, sendo que as APPs possuem apenas 9,36% vegetação a mais que o restante da área. Isso permite concluir que as Áreas de Preservação Permanente vêm sendo ocupadas e recebendo o mesmo tratamento que as áreas fora da proteção legal, tendo a sua preservação seriamente comprometida.

Gráfico 4 - Uso do Solo em percentuais na área total da microbacia



10 CONCLUSÕES

A despeito do amparo legal, as Áreas de Preservação Permanente ainda são objeto de ações predatórias, principalmente pela exploração agrícola, pecuária ou extrativista.

No caso das APPs da microbacia do Ribeirão da Casa Branca constatou-se uma degradação severa, onde apenas 58,55% da área de preservação é mata. Os danos advindos da falta de cobertura vegetal são inúmeros, sobretudo a ausência da mata ciliar, que favorece a formação de voçorocas, queda de árvores, perda e redução da fertilidade do solo, incêndios, compactação e erosão do solo, contaminação e assoreamento dos rios. É também importante a ocupação pela atividade de mineração nessas áreas, em especial nas encostas e nascentes.

A metodologia desenvolvida neste trabalho é de execução simples, e mesmo sem o apoio de um software como o ARCGIS é possível executar todo o trabalho no SPRING, onde a parte relativa a álgebra de mapas seria feita através da linguagem LEGAL.

Os materiais necessários são de fácil aquisição, uma vez que boa parte dos mapas de Redes Hidrográficas e Topografias já se encontram digitalizados. Por outro lado, as áreas das microbacias são pequenas, o que facilita a digitalização de dados quando for o caso. Outro fator relevante é que as imagens de satélite estão cada vez mais acessíveis em termos financeiros, disponibilidade no mercado e qualidade técnica (resoluções cada vez maiores com qualidade fotográfica), além da atualização sistemática. Junto a isso, temos as técnicas de processamento de imagens cada vez mais poderosas, possibilitando inúmeras aplicações das imagens de satélite no diagnóstico

O uso de imagens de satélite e das tecnologias de processamento de imagens podem e devem ser melhor aproveitados nos monitoramentos e avaliações de Áreas de Preservação, uma vez que as fotografias aéreas, apesar da alta resolução que oferecem são de custo elevado, muitas vezes incompatíveis com a escassez de recursos das instituições que demandam esse material.

A avaliação e identificação das áreas sem cobertura vegetal nas APPs constitui o instrumento de partida para o monitoramento e recuperação desses ambientes.

Através desse zoneamento é possível delimitar e monitorar espaços degradados, a fim de subsidiar Programas Ambientais a um baixo custo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DELITTI, W.B.C. **Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares**. In: SIMPOSIO SOBRE MATA CILIAR., 1989, Sao Paulo, Anais. Fundacao Cargill. p.88-98.

DURIGAN, G. **Florística, fitossociologia e producao de folhedo em matas ciliares da regio oeste do Estado de Sao Paulo**. Campinas, 1994. 149f. Tese de Doutorado - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento Digital de Imagens**. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2000. 509p.

INPE. **SPRING 4.0, Manual do Usuário**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/SPRING>, 2003.

LIMA, W.P. **Função hidrológica da mata ciliar**. In SIMPOSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, Sao Paulo, Anais. Fundacao Cargill. p.25-42.

MAILLARD P.; SOUZA C.G. **Mapeamento das formações ribeirinhas de três sub-bacias hidrográficas do município de Brumadinho-MG**. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003, Belo Horizonte.

SILVA A. F. **Flora do Estado de Minas Gerais**. Disponível em <http://www.biodiversitas.org.br/areasprio/areasprio.htm>. Acesso em dezembro de 2003.

SILVA S.M. **Considerações fitogeográficas e conservacionistas sobre a Floresta Atlântica no Brasil UFPR**. Disponível em <http://www.planetaverde.org.br/floresta.htm>. Acesso em dezembro de 2003.

SOARES V. P.; et al. **Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato**. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte, p. 1381-1389. 1 CD-ROM.

THERMO GALACTIC. **Discriminant Analysis, The Mahalanobis Distance**. Disponível em http://www.galactic.com/Algorithms/discrim_mahaldist.htm. Acesso em dezembro de 2003.

TOMLIN, D. **Draft summary of Geographic information systems and Cartographic Modeling**. New York: Editora Prentice Hall,.1990.