

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

**GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL  
DESENCADEADA PELA MONOCULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA DO  
DISTRITO SANTA OLÍMPIA (PIRACICABA/SP)**

Nathália Aparecida Santa Marina Delgado

Rio Claro (SP)

2011

---

NATHÁLIA APARECIDA SANTA MARINA DELGADO

**GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA  
VULNERABILIDADE AMBIENTAL DESENCADEADA  
PELA MONOCULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA  
BACIA DO DISTRITO SANTA OLÍMPIA  
(PIRACICABA/SP)**

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Ambiental.*

Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro (SP)  
2011

---

NATHÁLIA APARECIDA SANTA MARINA DELGADO

GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE  
AMBIENTAL DESENCADEADA PELA MONOCULTURA DE  
CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA DO DISTRITO SANTA  
OLÍMPIA (PIRACICABA/SP)

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Ambiental.*

Comissão Examinadora  
Andréia Medinilha Pancher (orientadora)  
Manuel Rolando Berríos Godoy  
Rubens Hardt

Rio Claro, 28 de novembro de 2011.

---

Nathália Aparecida S. M. Delgado  
Aluna

---

Andréia Medinilha Pancher  
Orientadora

*Á Rosângela Aparecida Valverde Santa Marina Delgado,  
José Luiz Bonilha Delgado,  
Cleberson Luiz Santa Marina Delgado e  
Nayara Cristina Santa Marina Delgado.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço meus pais, “Mamusca” e seu “Zé”, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim. Por todo o suporte financeiro e emocional provido por ele ao longo de toda minha vida.

Aos meus irmãos, Nayara e Cleberson, que mesmo discordando algumas vezes, rimos muito e somos muito amigos, sei que posso contar com eles para toda a vida.

As minhas cachorrinhas, Luana e Honey, que sempre me fizeram feliz. Em especial à Luana, nunca me esquecerei da minha melhor amiga.

Agradeço também à minha extensa família, avô, avós, tios, tias, primas e primos, pelos momentos de alegria que passamos juntos, desde minha infância até hoje.

Agradeço a todos meus amigos, pela força em todos os momentos. Ao Gustavo, hoje apenas amigo, mas sei que posso contar com sua ajuda e apoio em todos os momentos. Às minhas queridas amigas, em especial a Helene por sua sinceridade e amizade, Dai por sua amizade e muito tempo de conversa, Cinthia pelos sábios conselhos, Thaty que com toda sua meiguice ninguém imagina o quanto é forte, Carol por me fazer dar boas gargalhadas, Mari por sempre guardar meus mais preciosos segredos e ser tão espontânea, Fer por sempre me animar e me deixar feliz mesmo em momentos tristes, Pucca por me ajudar no que for preciso com seus cadernos perfeitos e Alê por sua amizade, serenidade e ter me ajudado muito com o trabalho.

Agradeço à minha prezada orientadora, Andréia Medinilha Pancher, que com paciência, me atendeu mesmo sem marcar horário, sempre de bom humor, e por ser uma excelente profissional, dedicada, à qual me espelho.

A todas as outras pessoas que de algum jeito me cativaram nessa jornada.

Por fim agradeço a Deus, que esteve presente em todos os momentos e sempre estará, me apoiando, dando forças para seguir e por ter me mostrado como o mundo é maravilhoso, diante dessas pessoas.

## **RESUMO**

A produção de cana-de-açúcar é de suma importância para a economia de todo o Brasil, devido à sua múltipla utilidade, sendo empregada como matéria prima para a fabricação de diversos itens, sobretudo, açúcar e álcool. Em áreas de monocultura canavieira, o manejo adequado de solos e água é imprescindível, não somente para a manutenção da qualidade ambiental, como também, para a qualidade de vida da população. Dentre os principais impactos gerados pelo cultivo de cana-de-açúcar, destaca-se a retirada da mata ciliar, que é imprescindível para o equilíbrio e manutenção do ecossistema. Diante do exposto, o presente trabalho teve como principal objetivo mapear as áreas ambientalmente vulneráveis na bacia de um afluente do rio Corumbataí, localizado no distrito Santa Olímpia, no município de Piracicaba-SP. Para o propósito, foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento, visando elaborar os mapas temáticos de Declividade, de Uso e Ocupação das Terras, de Áreas de Preservação Permanente (APP), Pedológico e Geológico da bacia de interesse. A partir desses mapeamentos, foi realizada a análise multicritério, a qual resultou no Mapa de Vulnerabilidade Ambiental. Este mapeamento subsidiou a avaliação ambiental da área de estudo, indicando propostas de práticas de conservação e manejo dos recursos solo e água, visando à melhoria da qualidade ambiental da área analisada. Deste modo, pesquisas desta natureza, podem auxiliar nas tomadas de decisão por parte dos órgãos governamentais bem como da sociedade civil.

Palavras-Chave: Geoprocessamento; Cultura de cana-de-açúcar; Bacia Hidrográfica; Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

## **ABSTRACT**

Sugar cane production is of the utmost importance to the economy of the entire Brazil, due to its multiple utility, being used as the raw material for the manufacture of various items, particularly, sugar and alcohol. In areas of sugarcane monoculture, the appropriate management of soils and water is essential, not only for the maintenance of the quality of the environment, but also for the quality of life of the population. Among the main impacts generated by the cultivation of sugar cane, stands out the withdrawal of the riparian forest, which is essential to the balance and maintenance of the ecosystem. Before that, the present work aimed at mapping the environmentally vulnerable areas in the basin of a tributary of the Corumbataí river, located in the district Santa Olímpia, in the city of Piracicaba-SP. For the purpose, techniques were used in Geoprocessing, aiming to produce thematic maps of Slope, for the Use and Occupation of Land, of Permanent Preservation Areas (APP), Soil and Geological of the basin of interest. From these mappings, the analysis was performed multi-criteria, which resulted in the Map of Environmental Vulnerability. This mapping environmental assessment of the study area, indicating proposals of practices for the management and conservation of soil and water resources, for the purpose of improving the environmental quality of the analyzed area. In this way, the research of this nature, may help in the decision-making on the part of the governmental bodies as well as civil society.

**Key Words:** Geoprocessing; Sugar cane culture; River Basin; Map of Environmental Vulnerability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia Hidrográfica de estudo – Distrito Santa Olímpia, Piracicaba - SP.....	22
Figura 2. Fluxograma dos métodos utilizados nesse trabalho .....	24
Figura 3. Mapa de Pedológico da bacia de estudo .....	35
Figura 4. Mapa de Geológico da bacia de estudo.....	37
Figura 5. Mapa de Declividade da bacia de estudo .....	39
Figura 6. Foto da visita de campo com duas feições do uso e ocupação da terra .....	40
Figura 7. Foto aérea urbana do distrito Santa Olímpia.....	40
Figura 8. Mapa de Uso e Ocupação da bacia de estudo .....	41
Figura 9. Porcentagem do Uso e Ocupação da Terra na bacia de estudo.....	42
Figura 10. Mapa de Áreas de Preservação Permanente da bacia de estudo .....	44
Figura 11. Mapa de Vulnerabilidade Ambiental – Cenário 4.....	47



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites mínimos para mata ciliar. ....	19
Tabela 2. Denominações dos pesos para as feições.....	30
Tabela 3. Análise multicritério, influência dos mapas e pesos de cada feição.....	32
Tabela 4. Pontos de controle coletados em campo .....	33
Tabela 5. Áreas ocupadas pelos tipos de solos da bacia.....	34
Tabela 6. Áreas ocupadas pelas formações geológicas presentes na bacia .....	36
Tabela 7. Área ocupada por diferentes usos da terra .....	42
Tabela 8. Comparação das APP existentes com as APP determinadas pelo Código Florestal .....	43
Tabela 9. Classes de uso e ocupação em conflito com as APP .....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Geoprocessamento .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Vulnerabilidade ambiental .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3. Monocultura canavieira e impactos associados .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Legislação .....</b>	<b>18</b>
3.4.1 <i>Área de Preservação Permanente .....</i>	<i>18</i>
3.4.2 <i>Legislação em nível municipal .....</i>	<i>19</i>
<b>4. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA.....</b>	<b>21</b>
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1. Material .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2. Métodos .....</b>	<b>255</b>
5.2.1. <i>Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos .....</i>	<i>25</i>
5.2.2. <i>Elaboração da Base Cartográfica Digital da bacia hidrográfica analisada .....</i>	<i>26</i>
5.2.3. <i>Mapa de Declividade.....</i>	<i>26</i>
5.2.4. <i>Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP).....</i>	<i>28</i>
5.2.5. <i>Mapa de Uso e Ocupação da Terra .....</i>	<i>28</i>
5.2.6. <i>Mapa Geológico e Pedológico .....</i>	<i>29</i>
5.2.7. <i>Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....</i>	<i>29</i>
5.2.8. <i>Trabalhos de Campo .....</i>	<i>334</i>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1 Análise dos fatores condicionantes à vulnerabilidade ambiental.....</b>	<b>33</b>
6.1.1. <i>Pedologia.....</i>	<i>34</i>
6.1.2. <i>Geologia .....</i>	<i>36</i>
6.1.3. <i>Aspectos altimétricos e Mapa de Declividade.....</i>	<i>38</i>
6.1.4. <i>Mapa do Uso e Ocupação da Terra .....</i>	<i>40</i>
<b>6.2. Análise ambiental das áreas vulneráveis.....</b>	<b>43</b>
6.2.1. <i>Áreas de Preservação Permanente (APP) .....</i>	<i>43</i>
6.2.2. <i>Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....</i>	<i>46</i>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A preservação ambiental é uma necessidade que se impõe ao homem contemporâneo, porque vários dos elementos que compõe o meio ambiente tem um caráter esgotável e também porque tomou-se ciência que o padrão de comportamento imposto pela busca de crescimento a qualquer custo não mais se sustenta (PEREIRA, 2006).

No cenário mundial, especificamente no Brasil, a questão ambiental tem se tornado algo preocupante. Esta deixou de ser uma temática que interessa somente a ambientalistas ou pessoas vinculadas às questões ecológicas, para ser vista como uma problemática que perpassa toda a sociedade. Esta preocupação com o meio ambiente juntamente com a necessidade de inovações tecnológicas, aumentam a competitividade de certos produtos, pressionando a economia dos bens não-renováveis, solicitando um modelo de desenvolvimento sustentável.

Para o cultivo agrícola, o uso constante do solo e de tecnologias de ponta nem sempre levam em consideração os manejos mais adequados, o que vem a promover maior desgaste e empobrecimento do meio físico. O planejamento do uso das terras é essencial para a prevenção de impactos permanentes na qualidade das terras e do solo em particular, possibilitando a prevenção de impactos e desequilíbrios que causam reflexos no ambiente e na economia. Para tanto, é indispensável adotar algumas práticas de manutenção da vegetação natural ou de reflorestamento de áreas desmatadas, minimizando o potencial do escoamento superficial da água e facilitando a infiltração de água no solo.

A produção de cana-de-açúcar tem sido apontada como responsável por muitos problemas ambientais, como o desrespeito às áreas de proteção ambiental, degradação do solo, a erradicação da vegetação natural, e a contaminação ambiental por resíduos industriais e agrotóxicos. Tradicionalmente, a atividade canavieira tem ocupado grandes extensões de terra, localizadas preferencialmente próximas à unidade processadora, que geralmente também é proprietária de um grande volume de terras (GONÇALVES, 2005).

Porém, a partir do planejamento e ocupação criteriosa do solo agrícola e emprego de técnicas de conservação para cada cultura e região, pode-se reduzir os possíveis impactos ambientais gerados, garantir proteção aos recursos ambientais, de maneira a perdurar seus serviços e permitir que as gerações futuras desfrutem de sua qualidade. (STRAPASSON; JOB, 2007).

A atuação do homem no meio ambiente, ao longo da história, fornece provas de suas ações em busca do progresso. Esta evolução tem seu lado positivo, pois abre novos horizontes, novas possibilidades e descobertas, e o lado negativo, pois pode causar desequilíbrios ecológicos, econômicos e sociais. Desta forma, o próprio homem, vem criando mecanismos para controlar, sanar e prevenir tais desequilíbrios. Neste sentido emerge uma área de estudos e aplicações, denominada “Geoprocessamento”. (THOMÉ, 1998).

Dentre as técnicas de Geoprocessamento, destaca-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite elaborar diagnósticos de situações existentes e prognósticos, gerando mapeamentos que facilitam a avaliação dos impactos. Portanto, o Geoprocessamento possibilita gerar produtos digitais básicos como mapas temáticos aplicados para análise de problemáticas ambientais.

Diante do exposto, considerou-se relevante estudar os possíveis impactos em uma bacia localizada no município de Piracicaba. O município apresenta problemas generalizados de erosão e assoreamento de cursos d’água, aliados a monocultura canavieira.

Deste modo, os resultados obtidos neste estudo foram quantificados e demonstrados por meio de mapas temáticos abrangendo dados como, uso e ocupação, declividade, áreas de preservação permanente (APP) e vulnerabilidade ambiental. Além disso, o presente trabalho é de fundamental importância, pois permite compreender a forma como as APP estão sendo ocupadas, indicando-se medidas para o adequado uso e ocupação da área, com o auxílio da legislação vigente, visando minimizar os impactos ambientais.

As análises realizadas, relativas às áreas vulneráveis ambientalmente, fornecem informações para elaboração de planos diretores. Assim, os dados que foram produzidos por este trabalho poderão contribuir para o eficaz planejamento ambiental desta área, pois com a elaboração dos documentos cartográficos e a análise dos resultados, é possível identificar os setores mais frágeis ambientalmente, possibilitando planejar usos da terra condizentes com as características físico-naturais e antrópicas da área de estudo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo fundamental deste estudo foi estimar as áreas vulneráveis do ponto de vista ambiental de uma bacia localizada na região do Distrito Santa Olímpia, no município de Piracicaba/SP. Para o propósito, foram utilizados produtos sensores e documentos cartográficos, os quais foram base para a elaboração dos mapas temáticos, por meio de Geoprocessamento. Através da análise multicritério realizou-se a integração dos mapas temáticos Pedológico, Geológico, de Declividade e de Uso e Ocupação da Terra, permitindo-se elaborar o mapa de Vulnerabilidade Ambiental. Com base neste mapa final, foram avaliados os impactos ambientais desencadeados pela cultura de cana-de-açúcar na referida bacia, afluente do rio Corumbataí.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Para atingir o objetivo geral, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento dos dados relativos ao uso e ocupação das terras e sua disposição espacial na bacia de estudo, identificando aspectos negativos associados ao manejo inadequado dos recursos naturais;
- Análise da vulnerabilidade ambiental da área buscando compreender quais os fatores determinantes para a ocorrência de impactos potenciais;
- Averiguação se a presença de áreas vulneráveis na bacia está relacionada à monocultura de cana-de-açúcar e ao não cumprimento da Legislação Ambiental no que se refere à área de preservação permanente;
- Elaboração de propostas de práticas de conservação e manejo dos recursos solo e água, visando a melhoria da qualidade ambiental da área compreendida pela bacia.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Geoprocessamento**

Geoprocessamento constitui hoje uma ferramenta primordial para as etapas de levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais. Pode ser

definido como um conjunto de procedimentos computacionais que operam sobre bases georreferenciadas já existentes ou provenientes do sensoriamento remoto, da cartografia digital ou qualquer outra fonte e executam classificações e outras transformações dirigidas à elucidação da organização do espaço geográfico (DIAS et. al., 2007).

Abrange o uso de técnicas matemáticas e computacionais, para tratar ou extrair informações dos aspectos físico-naturais e antrópicos da superfície terrestre. Esses dados podem ser obtidos pelo sensoriamento remoto, de uma forma rápida e interativa, ajudando nas decisões de gerenciamento ambiental.

Quanto à definição de sensoriamento remoto, Florenzano (2007) afirma que é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distancia, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

O conjunto das geotecnologias como Sensoriamento Remoto, GPS (Global Positioning System), Levantamentos Aereofotográficos e Geoprocessamento formam um Sistema de Informação Geográfica (SIG), ambiente de respostas a perguntas que envolvem a localização como fator primordial. A característica básica desses sistemas é sua capacidade de associar as representações do mundo real, organizadas em planos de informações, a bancos de dados alfanuméricos (DIAS et. al., 2007).

De uma forma mais ampla, um SIG consiste em um ambiente de armazenamento, tratamento e análise de dados, aplicação de modelos e processamento de séries temporais, onde é possível visualizar cenários passados, atuais e simular cenários futuros. Deve-se lembrar que é necessário um analista capacitado para a aplicação eficaz de um SIG, uma vez que é necessário avaliar as lógicas disponíveis para agrupamento espacial de dados (MMA, 1997).

O uso de produtos obtidos pelo sensoriamento remoto e o geoprocessamento junto com técnicas cartográficas viabilizam uma análise mais detalhada do parcelamento do solo e ainda permite organizar conjuntamente estes dados. Deste modo, permitem estudar o desmatamento da mata ciliar assim como a evolução da ocupação urbana, identificando áreas mais ambientalmente vulneráveis a processos urbanísticos.

### 3.2. Vulnerabilidade ambiental

No Brasil, segundo Jordão e Moretto (2010), a discussão sobre vulnerabilidade ambiental é recente e pouco explorada. A idéia da vulnerabilidade está relacionada com uma condição intrínseca que cada fração do território apresenta de responder às perturbações, que em interação com o tipo e magnitude do evento induzido resulta numa grandeza de efeitos adversos.

Assim, a vulnerabilidade ambiental é medida a partir da relação entre as características do meio, eventos induzidos e efeitos adversos de uma área, em que se deve considerar a persistência (medida de quanto o sistema afasta de sua estabilidade sem mudar essencialmente seu estado) e a resiliência (capacidade de um sistema de retornar a seu estado de equilíbrio, após sofrer um distúrbio) (SANTOS; CALDEYRO, 2007).

Segundo Tagliani (2003), vulnerabilidade ambiental significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer, avaliada segundo três critérios:

- Fragilidade estrutural intrínseca – condicionada por características inerentes ao substrato físico e que descrevem seus materiais, formas e processos, sintetizando suas relações. Os fatores de fragilidade estrutural analisados foram a declividade e a capacidade de uso dos solos.
- Sensibilidade – condicionada pela proximidade de ecossistemas sensíveis, os quais sustentam e mantêm inúmeras funções ambientais. Os fatores analisados foram a proximidade de recursos hídricos e a proximidade de comunidades vegetais sob proteção legal.
- Grau de maturidade dos ecossistemas – condicionada pelo tempo de evolução, uma das características que determinam a fragilidade relativa dos ecossistemas frente a perturbações antrópicas.

O conhecimento sobre a vulnerabilidade ambiental de um território, por parte dos tomadores de decisão e da sociedade, é essencial para que sejam induzidas políticas, planos e programas capazes de refletir a realidade da melhor maneira possível. Sendo uma maneira de compreender a viabilidade e sustentabilidade da existência das ações humanas, por ser possível através desse tipo de análise obter dados sobre os atributos presentes no meio e as alterações que as atividades econômicas causam no território (JORDÃO; MORETTO, 2010).

Ressalta-se que para o presente trabalho, o conceito de vulnerabilidade engloba as características físicas do solo, no que se refere à erosão, e uso antrópico. Ou seja, o mapa que abrange a vulnerabilidade ambiental foi elaborado, sobretudo, visando a: obtenção de dados relativos a áreas que estão sobre riscos à erosão laminar; influência do uso antrópico no solo, como empobrecimento das características físico-químicas e desmatamento de APP e fragmentos de matas devido à monocultura canavieira.

Para tanto, o mapa de vulnerabilidade ambiental pode auxiliar a visualização das características físico-naturais da bacia de estudo, indicando áreas que devem ser priorizadas no manejo do uso e ocupação das terras da bacia.

### **3.3. Monocultura canavieira e impactos associados**

Segundo a ÚNICA (União da Indústria de Cana-de Açúcar, 2010), atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de 7 milhões de hectares plantados ou cerca de 2% de toda a terra arável do país, produzindo mais de 480 milhões de toneladas de cana, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, abrangendo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo.

Ainda, segundo a ÚNICA (2010), dentre os municípios brasileiros produtores de cana-de-açúcar, destaca-se o município de Piracicaba, o qual a monocultura canavieira sempre foi muito estimulada, principalmente após o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) na década de 1970. Este programa foi criado para diminuir a vulnerabilidade energética do país, devido à crise mundial do petróleo. Grandes investimentos, apoiados pelo Banco Mundial, diversificaram a atuação da indústria açucareira em todo o País, possibilitando a ampliação da área plantada com cana-de-açúcar e a implantação de destilarias de etanol.

Após o Proálcool, houve um aumento significativo das usinas de moagem na região de Piracicaba. Muitos dos pequenos produtores da região arrendam as propriedades para a usina que beneficia esta matéria-prima, permitindo assim, que aumente de maneira vultosa o cultivo da cana-de-açúcar em extensas áreas, causando impactos sócio-ambientais expressivos.

Andrade e Diniz (2007), afirmam que a produção de cana desencadeia:



- Contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo, por meio da prática excessiva de adubação química, corretivos minerais e aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas;
- Assoreamento de corpos d'água, devido à erosão do solo em áreas de reforma;
- Redução da biodiversidade, acarretada pelo desmatamento decorrente da implantação de monocultura;
- Emissão de fuligem e gases de efeito estufa, na queima, ao ar livre, de palha, durante o período de colheita;
- Compactação do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas, durante o plantio, tratos culturais e colheita;
- Consumo intenso de óleo diesel, nas etapas de plantio, colheita e transporte;
- Danos à flora e fauna, causados por incêndios descontrolados;
- Concentração de terras, rendas e condições subumanas do trabalho do cortador de cana.

Outro impacto potencial, comum atualmente, é o êxodo rural. Com a intensificação das tecnologias agrícolas, é cada vez menos preciso a mão-de-obra no meio rural, o que vem a promover um deslocamento da população nas áreas de agricultura para áreas urbanas. Este envolve um aspecto mais social, porém é de extrema importância que seja averiguado em determinadas áreas.

De acordo com Berríos (1993), antes de ser cortada e transportada para a industrialização, quando não há mecanização, é realizada a queima da cana-de-açúcar. O emprego desta técnica conduz calor até profundidades variáveis, atingindo não somente diversas espécies da flora e fauna, como também, comprometendo a constituição físico-química do solo, fragmentando as partículas de argila ou de areia. Alterando, portanto, os colóides e formando uma crosta dura que veda a infiltração de água no solo e a oxigenação dos horizontes superficiais.

Ainda segundo Berríos (1993), a mecanização do trabalho canavieiro também causa impactos, pois o forte peso da maquinaria agrícola exerce altas pressões sobre o solo do canavial, compactando-o severamente. Esta pressão considerável ocorre no primeiro horizonte do solo, que, conforme as propriedades físico-químicas, pressiona as camadas mais profundas,

alterando seu comportamento. E, com certa dificuldade de rompimento, há uma diminuição da capacidade de infiltração do solo e contribuindo para a erosão.

A erosão nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, segundo Martinelli e Filoso (2008), é um importante problema do cultivo de cana, sendo que está associada às grandes áreas de solo exposto que ficam suscetíveis a chuvas intensas e ventos, durante o processo inicial de conversão do uso do solo e no processo intermediário entre a colheita e o novo crescimento que o solo fica exposto por vários meses.

Ainda segundo os mesmos autores, a erosão também contribui para deterioração dos sistemas aquáticos devido ao carregamento de partícula de sedimento para os cursos d'água. Quando se trata de poluição de água, as águas residuais também são um problema, pois contém carga excessiva de matéria orgânica do processamento da cana e poluentes inorgânicos dos agroquímicos utilizados.

O despejo do vinhoto, subproduto do processamento da cana, também é uma questão significativa. Uma vez que polui os recursos hídricos, causando diversos impactos, foi proibido o seu lançamento em rios. Por ter uma disposição cara, uma alternativa utilizada é fertirrigação com o vinhoto na própria plantação de cana, mas existem estudos sobre a possibilidade dessa prática causar poluição de água subterrânea.

Martinelli e Filoso (2008 apud Silva et al., 2007) mostram que assumindo uma largura generalizada de 30m, para as faixas de APP, em sete importantes bacias hidrográficas que possuem uso agrícola no Estado de São Paulo, apenas 25% permanecem com as matas ciliares. Os outros 75% da zona ribeirinha foi convertido para cana e pastagem.

Nesse sentido, é fundamental ressaltar a questão de alteração da paisagem, visto a extensão da monocultura que ocupa grandes áreas de uma única espécie vegetal, no caso cana-de-açúcar, afetando inclusive a biodiversidade dos locais em que está presente.

### **3.4 Legislação**

#### *3.4.1 Área de Preservação Permanente*

De acordo com a Lei 4.771 de 1965 (Código Florestal), áreas de preservação permanente são "...áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de

preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

Quanto ao seu uso, as florestas dessas áreas não são suscetíveis de exploração, pois deixariam de cumprir sua missão específica. No entanto, elas não deixam de ter finalidade econômica. É inquestionável, por exemplo, o papel da vegetação no controle da erosão, ou no equilíbrio hídrico, ambos ganhos indiretos, mas mensuráveis. Além disso, servem para assegurar o bem-estar das populações, através de fatores como o controle da temperatura e da qualidade do ar e de outros não tão tangíveis, mas importantes, como a recreação e o equilíbrio psicológico advindo da simples contemplação de uma bela paisagem, que são bons investimentos. Além disso, conservando-se os espécimes da fauna e seus habitats, é possível quantificar economicamente a existência das florestas de preservação permanente (MACHADO, 2002).

O Código Florestal, alterado pela Lei 7.803 de 1989, institui que áreas de preservação permanente (APP) devem ser conservadas. A Lei relaciona as larguras mínimas de APP com os cursos d'água, ou seja, quanto maior a largura do curso d'água, maior a faixa de APP (Tabela 1). Contudo, para as nascentes, qualquer que seja a sua situação topográfica, a lei estabelece um raio mínimo de cinquenta metros de largura.

Tabela 1. Limites mínimos para mata ciliar

<b>Largura Mínima de APP (metros)</b>	<b>Largura do curso d'água (metros)</b>
30	menor que 10
50	entre 10 e 50
100	entre 50 e 200
200	entre 200 e 600
500	maior que 600

### *3.4.2 Legislação em nível municipal*

Para que haja a proteção e gestão dos recursos naturais em nível municipal, o Plano Diretor se tornou obrigatório para cidades com mais de 20.000 habitantes, e está previsto na Constituição Federal e na Legislação Federal através da Lei 10.257/ 01, popularmente conhecida como Estatuto da Cidade. O Plano Diretor é uma lei municipal que, deve ser revisado a cada 10 anos e estabelece diretrizes para a adequada ocupação do município, determinando o que pode e o que não pode ser feito em cada parte do mesmo.

A Prefeitura Municipal de Piracicaba, por meio de seu Plano Diretor, Lei nº 186 de 10 de outubro de 2006, instituiu a Política Ambiental Municipal. Este plano, no Título I, Capítulo III, Seção IV, dispõe sobre os objetivos da política ambiental para manter o meio ambiente equilibrado, englobando os recursos hídricos, manejo dos resíduos sólidos e promovendo a sustentabilidade ambiental do uso e da ocupação do solo (PIRACICABA, 2006).

Presente no Título I, Capítulo III, Seção V, a Subseção I, dispõe sobre a política agro-silvo-pastoril do município de Piracicaba, especificamente o setor sucroalcooleiro. Nela, são abordadas algumas diretrizes, como: privilegiar a gestão do negócio centrada no produtor; adequar-se às exigências ambientais; promover a pesquisa e o incentivo para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, eliminando gradativamente sua queima, priorizando o pequeno e médio produtor; promover a requalificação da mão-de-obra utilizada no corte da cana-de-açúcar, a qual deverá ser substituída gradativamente pela colheita mecanizada (PIRACICABA, 2006).

Para a realização destas diretrizes, o Poder Público Municipal poderá interagir com o Setor Sucroalcooleiro, na perspectiva de adoção das seguintes ações estratégicas: fomentar a instalação de microempresas; buscar parceiros no setor empresarial; captar recursos para financiamento; incorporar inovações tecnológicas; diversificar os sistemas produtivos explorando novos produtos e tecnologias; prover ações para conservação do solo (PIRACICABA, 2006).

Diante do exposto, fica evidente que o desenvolvimento sucroalcooleiro sobressai às preocupações ambientais. Provavelmente isto se dá diante da economia consolidada do setor primário do município de Piracicaba, voltada ao cultivo de cana-de-açúcar. Portanto, é importante uma discussão sobre mecanismos de realocação e compensação de reservas legais e planos de recomposição de áreas de preservação permanente nas beiras dos cursos d'água. Para tanto, o mapa de vulnerabilidade ambiental pode auxiliar a visualização das características físico-naturais da bacia de estudo, indicando áreas que devem ser priorizadas no manejo do uso e ocupação das terras da bacia. Mas, isso não é suficiente, devem-se criar mecanismos que garantam o cumprimento da legislação para que essas áreas não continuem sendo destruídas.

#### **4. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA**

O objeto de estudo da presente pesquisa é a bacia hidrográfica do córrego sem denominação, afluente do rio Corumbataí. A referida bacia está inserida no distrito de Santa Olímpia, no município de Piracicaba/SP. A área localiza-se entre as coordenadas UTM E=221.940,3m e N= 7.496.866,1m; E=219.831,1m e N=7.494.428,6m, totalizando uma área de 3.646.738,8 m<sup>2</sup> (Figura 1).

O município de Piracicaba localiza-se na região centro-leste do estado de São Paulo, na sub-bacia do rio Piracicaba, e pode ser localizado entre as coordenadas 22°43'31''S e 47°38'57''O. Limita-se com os municípios de Rio Claro, Limeira, Santa Bárbara D'Oeste, Laranjal Paulista, Iracemápolis, Anhembi, São Pedro, Charqueada, Rio das Pedras, Tietê, Capivari, Conchas, Santa Maria da Serra, Ipeúna e Saltinho. O município possui 364.571 habitantes, distribuídos em 1.376,913 km<sup>2</sup> de área territorial, com uma densidade demográfica de aproximadamente 264,77 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

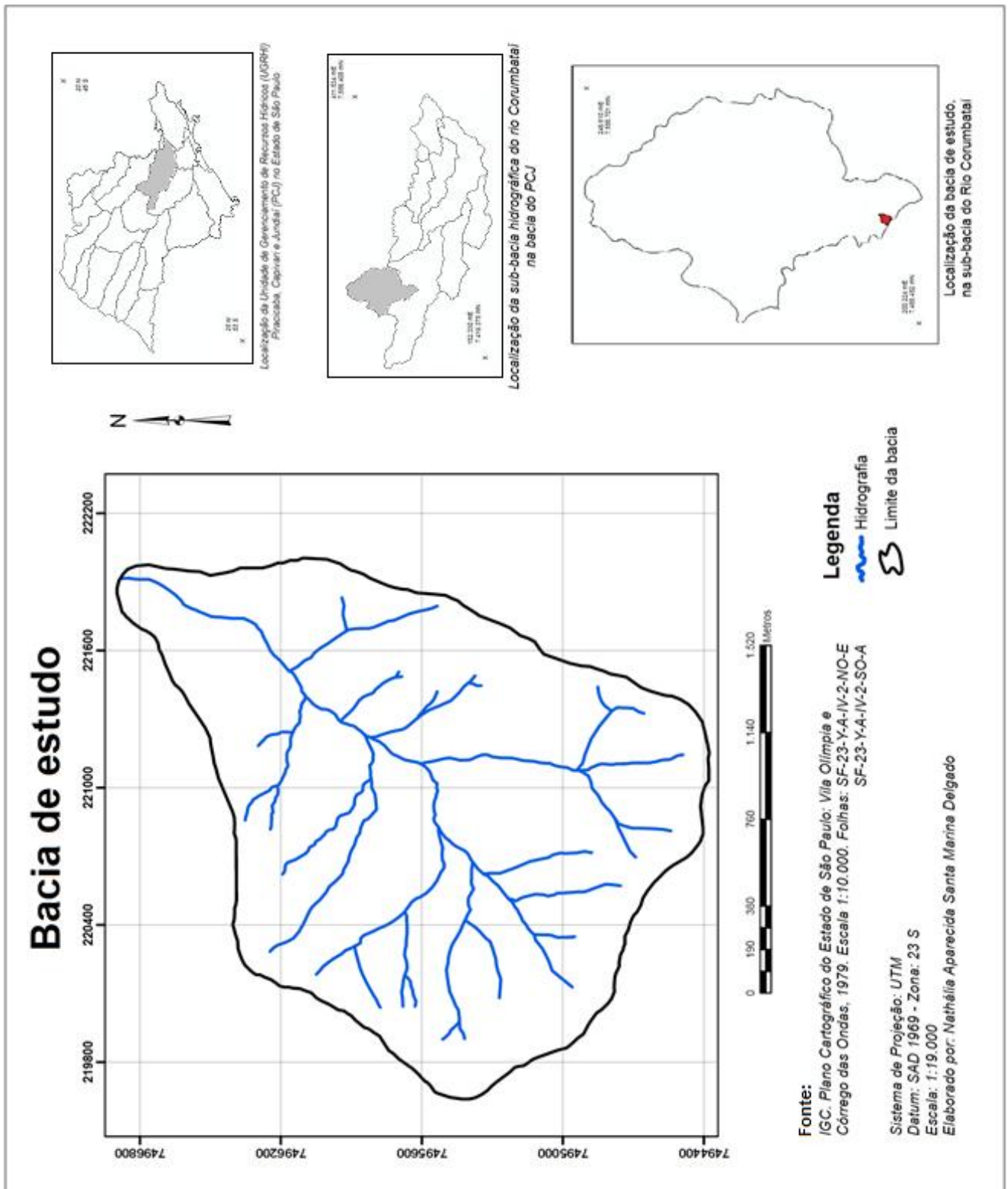


Figura 1. Localização da bacia Hidrográfica de estudo – Distrito Santa Olímpia, Piracicaba - SP.

As vias de acesso ao município de Piracicaba compreendem as rodovias Piracicaba – Santa Bárbara D'Oeste (SP-304), Piracicaba - Limeira (SP-147), Piracicaba – Rio Claro (SP-127) e o acesso à bacia de estudo se dá pela rodovia Piracicaba – Charqueada (SP-308). Atualmente, o cultivo de cana-de-açúcar é de grande importância para o setor primário da economia do município. Além do setor primário, destaca-se a indústria, principalmente a partir da década de 1970, quando acentuou-se a descentralização desta atividade a partir da região metropolitana de São Paulo, processo que conferiu à região das bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) grande importância econômica para o Estado de São Paulo. (BARRETO et. al., 2006). Em Piracicaba destaca-se uma atividade industrial bem diversificada, destacando-se as empresas Kraft Foods, Case, Fibria, Cosan, NG Metalúrgica.

Segundo Barretto et. al. (2006), o clima em Piracicaba é favorável à produção de cana-de-açúcar, uma das razões que torna esta a principal cultura do município, e favorecem tanto as condições de colheita como de maturação. O clima de Piracicaba também é favorável à exploração de culturas anuais, tais como o milho, soja, algodão, olerícolas, entre outras, e perenes (citros, café, pastagem, entre outras).

Ainda segundo o mesmo autor, Piracicaba é geralmente considerada como tendo relevo acidentado quando comparada às outras regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. O município pode ser considerado privilegiado em relação aos seus solos em vários aspectos. Em primeiro lugar, pela diversidade encontrada. A junção de diferentes materiais de origem (as rochas que, através do intemperismo, formam o solo), combinada a uma grande diversidade de formas de relevo, faz com que ocorram, numa mesma região, solos muito distintos.

No que diz respeito à hidrologia, a bacia de estudo está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5, também conhecida como bacia do PCJ. O rio Piracicaba possui uma extensão de aproximadamente 370 km, apresentando um desnível topográfico de cerca de 1.400 metros desde a sua nascente na Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais, até sua foz no Rio Tietê. Um dos seus principais afluentes é o rio Corumbataí.

Essa área ainda apresenta extrema importância para a biodiversidade, uma vez que possui remanescentes da Mata Atlântica com a mesma fisionomia da Serra do Mar, principalmente nas encostas da Serra do Japi. É uma área de interface entre a Mata Atlântica e as florestas estacionais semidecíduais de planalto, representada em todas as bacias do PCJ,

por fragmentos dispersos. No município de Piracicaba é possível verificar áreas onde ocorrem Mata Atlântica e Florestas Estacionais Semidecíduais, enquanto que nas regiões do rio Corumbataí é possível, ainda encontrar manchas de vegetação de Cerrado.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho estão descritos no fluxograma da Figura 2.

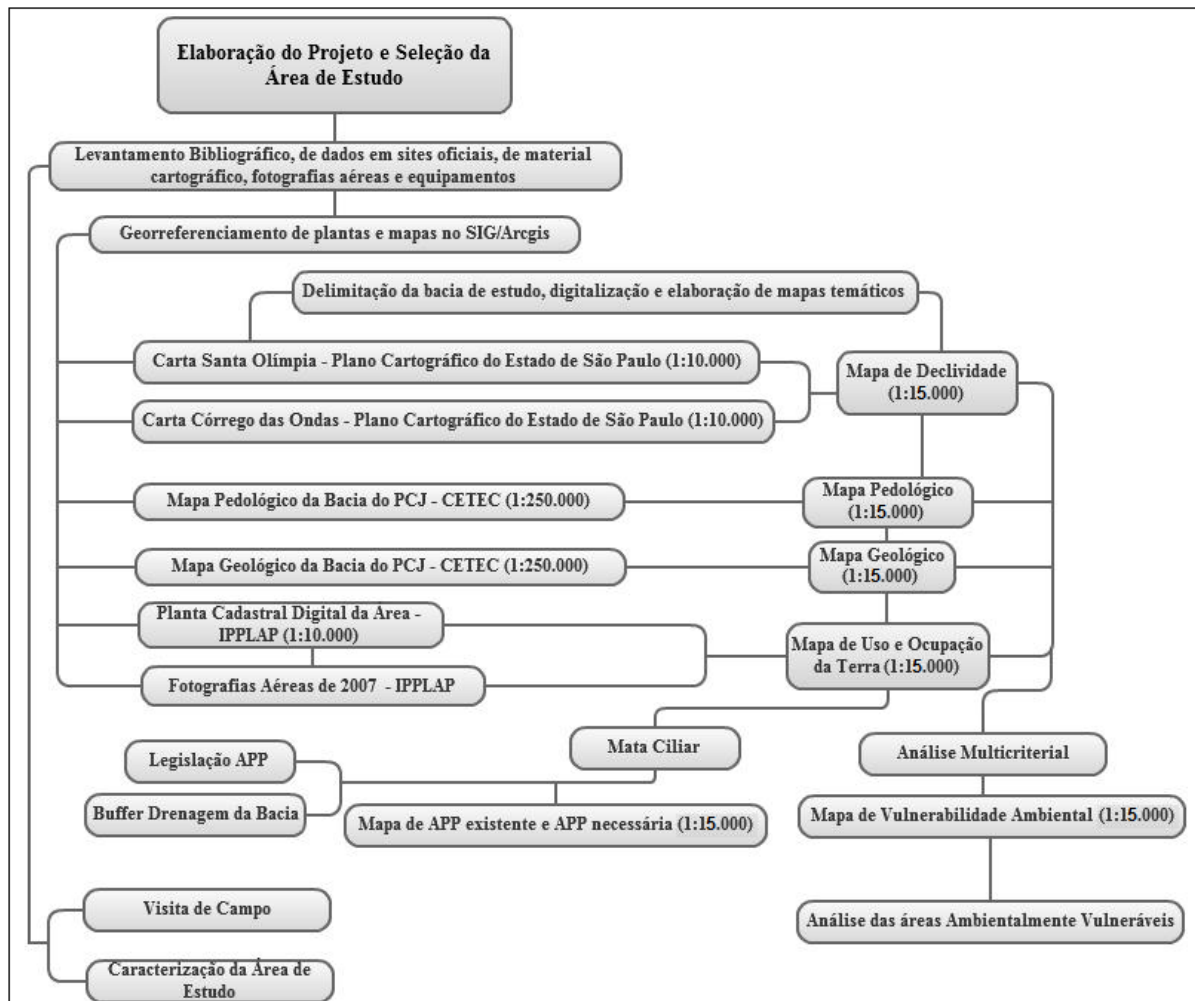


Figura 2. Fluxograma dos métodos utilizados nesse trabalho.

### 5.1. MATERIAL

Para a efetivação do presente trabalho, foram utilizados documentos cartográficos, produtos sensores, GPS e o SIG/ARCGIS. Assim, o material está especificado a seguir:



- Planta Cadastral Digital da região dos Distritos Santana e Santa Olímpia, no município de Piracicaba/SP, na escala 1:10.000, fornecida pela Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP), da Prefeitura Municipal;
- Cartas Topográficas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, folhas: SF-23-Y-A-IV-2-NO-E (Vila Olímpia) e SF-23-Y-A-IV-2-SO-A (Córrego das Ondas), de 1979, do IGC, na escala de 1: 10.000;
- Duas fotografias aéreas de 2007 com resolução espacial de 10 metros, cedidas pelo IPPLAP;
- GPS, da empresa Garmin, modelo GPS72;
- SIG/Arcgis, da empresa ESRI, versão 9.3.

## 5.2. MÉTODOS

Os métodos adotados neste trabalho abrangem a coleta de dados na bibliografia e em trabalhos de campo, a elaboração de mapas temáticos e a utilização de mapas já elaborados em outras pesquisas, bem como observações de campo.

### 5.2.1. Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos

Primeiramente, realizou-se um levantamento na UNESP, em *sites* oficiais e acervos digitais acadêmicos, selecionando-se informações de interesse em trabalhos científicos publicados em *sites*, livros e teses. Buscou-se, também, um embasamento teórico-metodológico relativo à cultura de cana-de-açúcar e os impactos gerados por este uso, assim como técnicas de geoprocessamento e sua importância na análise ambiental.

Também, efetuou-se uma busca do material cartográfico, como mapas, cartas topográficas e plantas cadastrais na UNESP e fotografias na prefeitura municipal de Piracicaba. Estes serviram de base, para o mapeamento dos aspectos físico-naturais e antrópicos da área da bacia de estudo.

As novas tecnologias de Geoprocessamento contribuíram para a realização do presente estudo, pois permitiu a aquisição, o armazenamento, a análise e a manipulação dos dados espacializados. O programa de geoprocessamento utilizado foi o SIG/ARCGIS.

### 5.2.2. *Elaboração da Base Cartográfica Digital da bacia hidrográfica analisada*

Para a construção da base cartográfica digital foram utilizadas cartas topográficas planialtimétricas, em escala 1:10.000. Utilizaram-se as cartas Vila Olímpia e Córrego das Ondas que correspondiam ao entorno da bacia de interesse, sequencialmente identificadas pela seguinte nomenclatura: SF-23-Y-A-IV-2-NO-E (articulação 69-88) e SF-23-Y-A-IV-2-SO-A (articulação 70-88).

Essas cartas foram georreferenciadas, adotando-se o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) e o Datum Sulamericano de 1969 (SAD-69), Zona 23-Sul. Assim, foram coletados os pontos de controle, localizados na intersecção das coordenadas UTM. Para cada documento cartográfico utilizou-se uma média de seis pontos de controle, distribuídos por toda a extensão das Cartas.

Os dados da base cartográfica digital, bem como das fotografias aéreas e as informações obtidas dos mapas existentes na bibliografia, serviram de base para a elaboração dos mapas temáticos de Declividade, de Áreas de Preservação Permanente (APP), de Uso e Ocupação da Terra, Geológico e Pedológico.

Com vistas não apenas à análise visual, mas também numérica da área, calculou-se a extensão ocupada pelas diversas feições de cada mapeamento, com exceção do mapa de declividade.

### 5.2.3. *Mapa de Declividade*

É de suma importância estudar a topografia do terreno, uma vez que ela possui influência na intensidade erosiva, de modo que quanto maior o grau de declive maior será a velocidade do escoamento superficial.

Segundo Reis (2011), a declividade, ou inclinação, refere-se à relação entre a amplitude e o comprimento do aclave, que pode ser expressa em grau ou porcentagem. A determinação da declividade ou gradiente topográfico pode ser feita diretamente no campo, por meio de levantamentos topográficos, ou, indiretamente, por meio de cartas topográficas. É definida em uma relação percentual entre o desnível vertical “H” e o componente horizontal “L” do aclave, de acordo com a fórmula:

$$D = H/L \times 100$$

Portanto, elaborou-se o Mapa de Declividade da área aplicando-se o método de Modelagem Numérica de Terreno (MNT). Segundo Câmara e Felgueiras (2001), um MNT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

O processo de geração de um MNT envolve duas etapas: amostragem e interpolação. A primeira etapa, segundo os mesmos autores, constitui na aquisição de um conjunto de amostras que representam a variação de um fenômeno espacial de interesse. Para a amostragem do presente estudo, foram digitalizadas as curvas de nível, os pontos cotados e a drenagem, a partir das cartas Vila Olímpia e Córrego das Ondas.

A interpolação, segunda etapa de um MNT, refere-se à geração do modelo propriamente dito. O processo envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos no SIG. As estruturas de dados mais utilizadas são a grade regular e a malha triangular, comumente denominada de *Triangular Irregular Network* (TIN) (CÂMARA; FELGUEIRAS, 2001).

O TIN é representado por um conjunto de poliedros cujas faces são triangulares, o vértice destes triângulos são os pontos obtidos na amostragem. Este tipo de estrutura permite que sejam consideradas as descontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagens (vales).

Após a geração do TIN, gerou-se o mapa de declividade, com 6 intervalos de classes em porcentagem. Estes intervalos foram determinados considerando o número de valores de entrada (n), que foi igual a 41 (33 curvas de nível e 8 pontos cotados), pela Fórmula de Sturges, resultando no número de classes (k) igual a 6.

$$\text{Fórmula de Sturges: } k = 1 + 3,322 (\log_{10} n)$$

A área é relativamente plana, uma vez que a declividade não ultrapassa 48%. Como a declividade média da área é considerada baixa, o fatiamento das classes foi elaborado da seguinte forma: inferior a 2%, entre 2 e 4%, entre 4 e 6%, entre 6 e 12%, entre 12 e 24% e entre 24 e 48%, visando representar com mais detalhes a topografia.

#### *5.2.4. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP)*

A mata ciliar é de extrema importância para a proteção dos recursos hídricos e para manter o equilíbrio do ecossistema. Desta forma, considerou-se relevante comparar as condições atuais desta vegetação na bacia de estudo com a determinação da legislação ambiental.

Com o objetivo de definir áreas prioritárias para a gestão ambiental e verificar se a mata ciliar existente atende às determinações legais, elaborou-se o mapa de APP segundo o Código Florestal (Lei nº 4.771/65). O mapeamento das APP existentes em 2007 foi realizado utilizando-se os recursos de desenho, através da interpretação visual das fotografias aéreas, fornecidas pela Prefeitura Municipal de Piracicaba, no SIG/Arcgis.

Como a largura de drenagem da bacia de estudo é inferior a 10 metros, elaboraram-se faixas de mata ciliar de 30 metros e de 50 metros no entorno das nascentes, como determina o Código Florestal. Com a sobreposição dos dados das APP existentes em 2007 com os dados gerados segundo a legislação, foi possível analisar quais são as áreas prioritárias para gestão ambiental da bacia, ou seja, quais áreas não estão condizentes com a determinação da legislação.

#### *5.2.5. Mapa de Uso e Ocupação da Terra*

As bacias hidrográficas quando ocupadas pelo homem podem desencadear ou acelerar danos ambientais, por isso é de suma importância o mapeamento do uso e ocupação destas áreas para auxiliar no monitoramento ambiental.

Portanto, elaborou-se o mapa de uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica através da interpretação visual das fotografias aéreas em escala 1:10.000 de 2007. No ambiente do SIG/Arcgis, as fotografias aéreas foram georreferenciadas selecionando-se aproximadamente 8 pontos de controle em cada imagem. Assim, realizou-se a integração entre pontos de controle coletados no Plano Cartográfico de Vila Olímpia e Córrego das Ondas e seus correspondentes nas imagens. A identificação das classes de uso e ocupação da terra presentes no local baseou-se principalmente nos dados das imagens aéreas, devido à dificuldade encontrada para realizar visitas de campo, considerando-se o intenso cultivo de cana-de-açúcar.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação da terra utilizaram-se as seguintes classes: cana, área urbana, várzea e mata ciliar. A primeira classe foi denominada cultivo de cana-de-açúcar. Já a área urbanizada, foi caracterizada pela pequena densidade de construções e predominância de áreas permeáveis, devido a localização, as residências são semelhantes à chácaras. A várzea engloba áreas próximas à drenagem, facilmente inundadas. Finalmente, a mata ciliar em 2007 englobava os fragmentos de vegetação existentes na área, sejam nativos ou reflorestados, em estágios diferenciados de sucessão.

#### *5.2.6. Mapa Geológico e Pedológico*

Para a elaboração dos mapas geológico e pedológico da bacia de estudo, os dados foram extraídos dos mapas, em formato DWG, presentes no relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), elaborados pela fundação paulista de tecnologia e educação (CETEC), em 1999.

#### *5.2.7. Mapa de vulnerabilidade ambiental*

A confecção do mapa de vulnerabilidade seguiu a metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994), a qual fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas. Os procedimentos operacionais para a sua construção exigem num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal etc. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

O mapeamento da vulnerabilidade ambiental se desenvolveu em duas etapas: tratamento dos dados e análise multicritério. O tratamento dos dados constituiu na elaboração dos mapas dos aspectos físicos relacionados com a vulnerabilidade ambiental (Mapa Pedológico, Geológico, Declividade e Uso e Ocupação da Terra) e conversão dos dados para o formato adequado.

Uma alternativa para integrar variáveis com pertinência a vulnerabilidade ambiental sem recorrer a experimentação na construção de um modelo empírico, é empregar um modelo de conhecimento de suporte a decisão. Um dos modelos mais simples e usual é a análise

multicritério implementada em SIG, que processa dados espaciais por meio de agregação de critérios, para gerar variáveis, como índices de vulnerabilidade. (COSTA et al. 2007).

No SIG/Arcgis, o processo consiste em combinar um conjunto de mapas através de uma determinada função, gerando um mapa resultante. A fim de complementar a metodologia de Ross, foi utilizado o estudo de Tagliani (2005) para avaliar e agregar os vários critérios utilizando-se o método de combinação linear ponderada, onde os diversos fatores foram padronizados para uma escala contínua de vulnerabilidade, definindo o limite entre o mais vulnerável e o menos vulnerável através de um conceito relativo. Neste procedimento, as informações cruzadas e os seus respectivos pesos associados tiveram uma cautelosa avaliação para que o resultado do cruzamento representasse da melhor forma possível à síntese desejada.

Na análise multicritério, para cada mapa foi atribuído um valor de influência (em porcentagem) de acordo com sua significância na vulnerabilidade ambiental da área. Ou seja, quanto maior a influência de certo aspecto no desencadeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia, maior foi o valor em porcentagem para o mapa.

Enquanto a ponderação dos mapas se deu por porcentagens, por se tratar de uma comparação entre estes, as feições mapeadas de cada aspecto receberam pesos em uma escala de 1 a 5, de forma crescente à vulnerabilidade ambiental (Tabela 2).

Tabela 2. Denominações dos pesos para as feições

<b>Peso</b>	<b>Vulnerabilidade Ambiental</b>
1	Baixíssima
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Altíssima

A ponderação de cada mapa e suas respectivas classes foi baseada nas características de cada feição e no próprio conhecimento dos aspectos da área de estudo. Os pesos para cada feição foram determinados quanto à relevância a riscos ambientais naturais, ou seja, quanto maior a influência do aspecto aos impactos ambientais, maior foi o valor do peso. Para cada mapeamento, levaram-se as considerações a seguir:

- Mapa Pedológico: como não foi encontrada uma base teórica e cartográfica que classificasse detalhadamente o tipo de neossolo presente na bacia, considerou-se o pior

cenário. Portanto, adotou-se que a área possui Neossolo Quartzarênico, com alta fragilidade ambiental (4). E, como a área em que são encontrados latossolos não possui ocupação antrópica, este, foi considerado como de muito baixíssima fragilidade ambiental (1).

- Mapa Geológico: segundo Tagliani (2005), quanto maior a idade, menor a vulnerabilidade e vice-versa, portanto, foram atribuídos valores médios de hierarquia de vulnerabilidade, distribuídos na escala de padronização. Como tanto a formação Corumbataí, quanto à formação Pirambóia são formações muito antigas, adotou-se pouca influência para os dados geológicos. Porém, pesos diferentes de vulnerabilidade ambiental, uma vez que apesar das duas formações serem antigas, estas se diferem na idade. Portanto a formação Pirambóia possui média vulnerabilidade (3) e a formação Corumbataí possui baixíssima vulnerabilidade (1).
- Mapa de declividade: segundo Tagliani (2005), embora o processo erosivo dependa de uma série de fatores conjugados, a declividade é um dos mais importantes no processo de escoamento superficial, e essencial para uma avaliação de risco a erosão. Assim, pode-se estabelecer que, para esse fator, quanto maior a declividade da área maior a vulnerabilidade ambiental. Para o presente estudo, considerou-se que os efeitos da declividade acima de 6%, como fator de vulnerabilidade, são cada vez mais significativos.
- Mapa de Uso e Ocupação das Terras: sabendo-se que o cultivo de cana-de-açúcar modifica as propriedades químicas e físicas do solo, este uso foi o que recebeu maior peso (5). Seguido pela área de várzea que possui baixa permeabilidade, portanto é uma área propícia a inundações e também, possui baixa fragilidade natural (2). Para a mata ciliar adotou-se uma baixíssima vulnerabilidade (1), uma vez que devido à intensa monocultura canavieira a mesma se torna vulnerável devido aos constantes desmatamentos na área. Para a área urbana não foi adotado nenhum peso, pois o principal interesse é a erosão laminar por isso desconsiderou-se a área coberta pela cidade. Vale salientar, que para uma análise mais minuciosa referente à erosão, a borda da área urbana deveria ser analisada separadamente, considerando-se que o potencial do escoamento oriundo da cidade para a borda é intensificado, fato que pode acarretar em processos de erosão mais significativos.

Os valores aplicados na ponderação dos mapas (influência) e suas feições (peso), adotados em cada mapa de vulnerabilidade podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise multicritério, influência dos mapas e pesos de cada feição.

Variáveis do Meio Físico			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Físico	Feição	Peso	Influência (%)	Influência (%)	Influência (%)	Influência (%)
<b>Pedologia</b>	Neossolo	4	30	30	25	20
	Latossolo Vermelho	1				
<b>Geologia</b>	Formacao Corumbatai	1	10	20	5	5
	Formacao Pirambóia	3				
<b>Uso da Terra</b>	Várzea	2	40	35	45	45
	Cana-de-açúcar	5				
	Uso urbano	No Data				
	Mata ciliar	1				
<b>Declividade</b>	0 a 2 %	1	20	15	25	30
	De 2 a 4 %	1				
	De 4 a 6 %	1				
	De 6 a 12 %	2				
	De 12 a 24 %	2				
	De 24 a 45%	3				

Após a análise dos critérios, seguiu-se com o mapeamento da vulnerabilidade ambiental. Para o cruzamento dos mapas no SIG/Arcgis, cada classe temática, representando as feições reclassificadas, receberam um peso de 1 a 5 e cada mapa recebeu um valor em porcentagem. Cada pixel da imagem raster de saída recebeu um valor, que é calculado através do valor da média ponderada dos valores dos pixels de entrada.

Assim, foram elaborados quatro cenários de vulnerabilidade ambiental, mudando-se apenas as influencias de alguns mapas. Com a finalidade de checar a veracidade dos mapas de vulnerabilidade que foram gerados, realizou-se uma análise visual dos mapas de entrada (geológico, pedológico, declividade e de uso e ocupação da terra) comparando-os com o de



saída (vulnerabilidade ambiental). Na análise dos mapas, o que mais se aproximou com a realidade foi o cenário 4, condizente com as características físico-naturais da bacia.

O cenário 4 dá influências maiores, sobretudo, a declividade e o uso e ocupação da terra. Portando, para vulnerabilidade alta tem-se o cultivo de cana-de-açúcar aliado a declividades acentuadas. Já para vulnerabilidades baixa e baixíssima há mata ciliar como tipo de uso do solo.

#### 5.2.8. Trabalhos de Campo

No decorrer da pesquisa, realizou-se uma visita de campo a fim conhecer as principais características da área, efetuando-se registros fotográficos para ilustrar pontos representativos. Devido ao intenso cultivo de cana-de-açúcar, não foi possível visitar toda a área, selecionando-se apenas dois pontos da bacia. Estes pontos eram próximos a duas nascentes, onde foram coletadas as coordenadas por meio do GPS e observados os tipos de uso da terra existentes, a fim de verificar a qualidade dos mapeamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Pontos de controle coletados em campo.

Ponto	Coordenada N (m)	Coordenada E (m)	Cota (m)	Precisão (m)
1	7.495.363	219.799	573,8	14,8
2	7.495.220	220.156	548	8,8

Observou-se que no ponto 1 devido a intensa vegetação arbórea a obtenção dos dados pelo GPS foi menos precisa.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise dos fatores condicionantes à vulnerabilidade ambiental

Os fatores antrópicos determinados pelo uso e ocupação da terra, aliados aos fatores naturais, determinados pelas feições geológicas, declividade do terreno e solo são condicionantes da origem e aceleração da vulnerabilidade ambiental. Diante disto, estes condicionantes foram caracterizados e detalhados por meio da elaboração dos mapeamentos temáticos. Esta caracterização foi fundamental para o desenvolvimento do mapeamento da vulnerabilidade ambiental.

### 6.1.1 Pedologia

Com base no Mapa Pedológico da bacia de estudo (Figura 3), os tipos de solo encontrados foram Neossolo e Latossolo Vermelho. Os Neossolos representam 78,9% da área da bacia, como mostra a Tabela 5, e localizam-se em toda a região das nascentes. São solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Esses solos, antigamente eram classificados como Solo Litólico, Solo Aluvial sem horizonte B, Regossolo e Areia Quartzosa; atualmente são classificados como Litólico, Flúvico, Regolítico e Quartzarênico, respectivamente.

Tabela 5. Áreas ocupadas pelos tipos de solos da bacia.

Tipo de Solo	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentagem
Neossolo	2.879.100,31	78,9
Latossolo Vermelho	767.638,53	21,05
Área Total	3.646.738,84	100

Elaboração: DELGADO, 2011.

Dentre os neossolos, o que possui maior fragilidade ambiental é o Neossolo Quartzarênico. Segundo Oliveira e Brito (1998), os Neossolos Quartzarênicos são: impróprios para aterros compactados; possuem variável susceptibilidade à erosão, em função da declividade, baixa em planícies e altas em colinas e morrotes e, pequenas concentrações de águas pluviais e/ou servidas podem provocar grandes ravinas; apresentam alta permeabilidade e; possuem o lençol freático profundo.

Como não foi encontrada uma base teórica e cartográfica que classificasse detalhadamente o tipo de neossolo presente na bacia, considerou-se o pior cenário. Portanto, adotou-se que a área possui Neossolo Quartzarênico.

Já o Latossolo vermelho, presente no restante da área, caracteriza-se por possuir profundidade maior que um metro, bem drenado, poroso, friável, com baixo teor de matéria orgânica e predominantemente ácido. Segundo Oliveira e Brito (1998), os latossolos apresentam baixa erodibilidade. Entretanto, quando submetidos à concentração d'água proveniente da ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas e, quando interceptado o lençol freático, boçorocas.

Como a área em que são encontrados latossolos não possui ocupação antrópica, este, foi considerado como de baixa fragilidade ambiental.

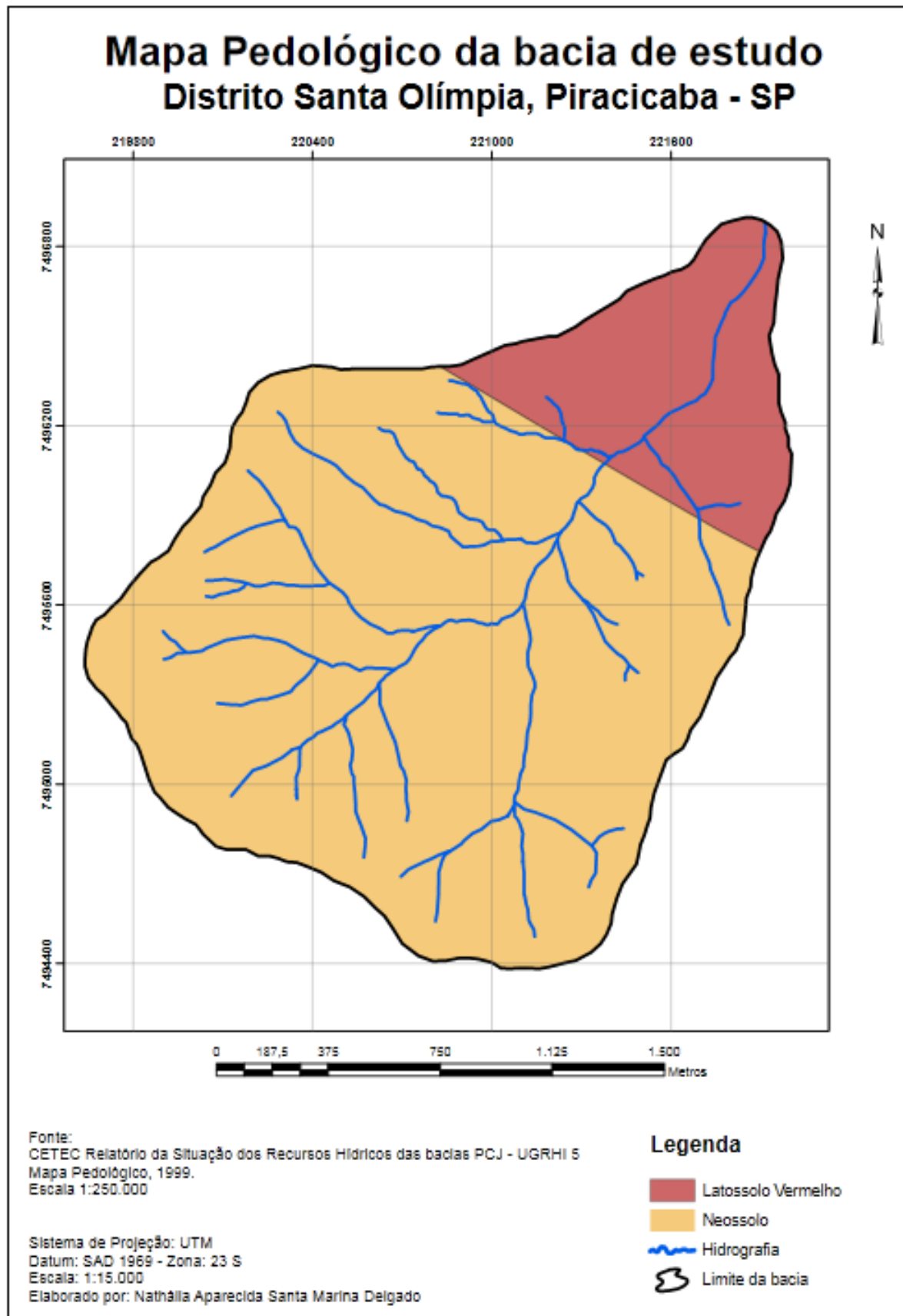


Figura 3. Mapa de Pedológico da bacia de estudo.

### 6.1.2. Geologia

As feições geológicas encontradas na bacia de estudo são Formação Corumbataí e Formação Pirambóia (Figura 4). Em sua maioria, a área é composta pela Formação Corumbataí, como evidencia a Tabela 6.

Tabela 6. Áreas ocupadas pelas formações geológicas presentes na bacia.

<b>Formação Geológica</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem</b>
Formação Corumbataí	2.495.098,71	68,42
Formação Pirambóia	1.151.640,13	31,58
Área Total	3.646.738,84	100

Elaboração: DELGADO, 2011.

A Formação Corumbataí é caracterizada por argilitos, folhelhos, siltitos e camadas de arenitos finos. Há também a Formação Pirambóia, que é encontrada próxima a algumas nascentes, composta por arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela, níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática.

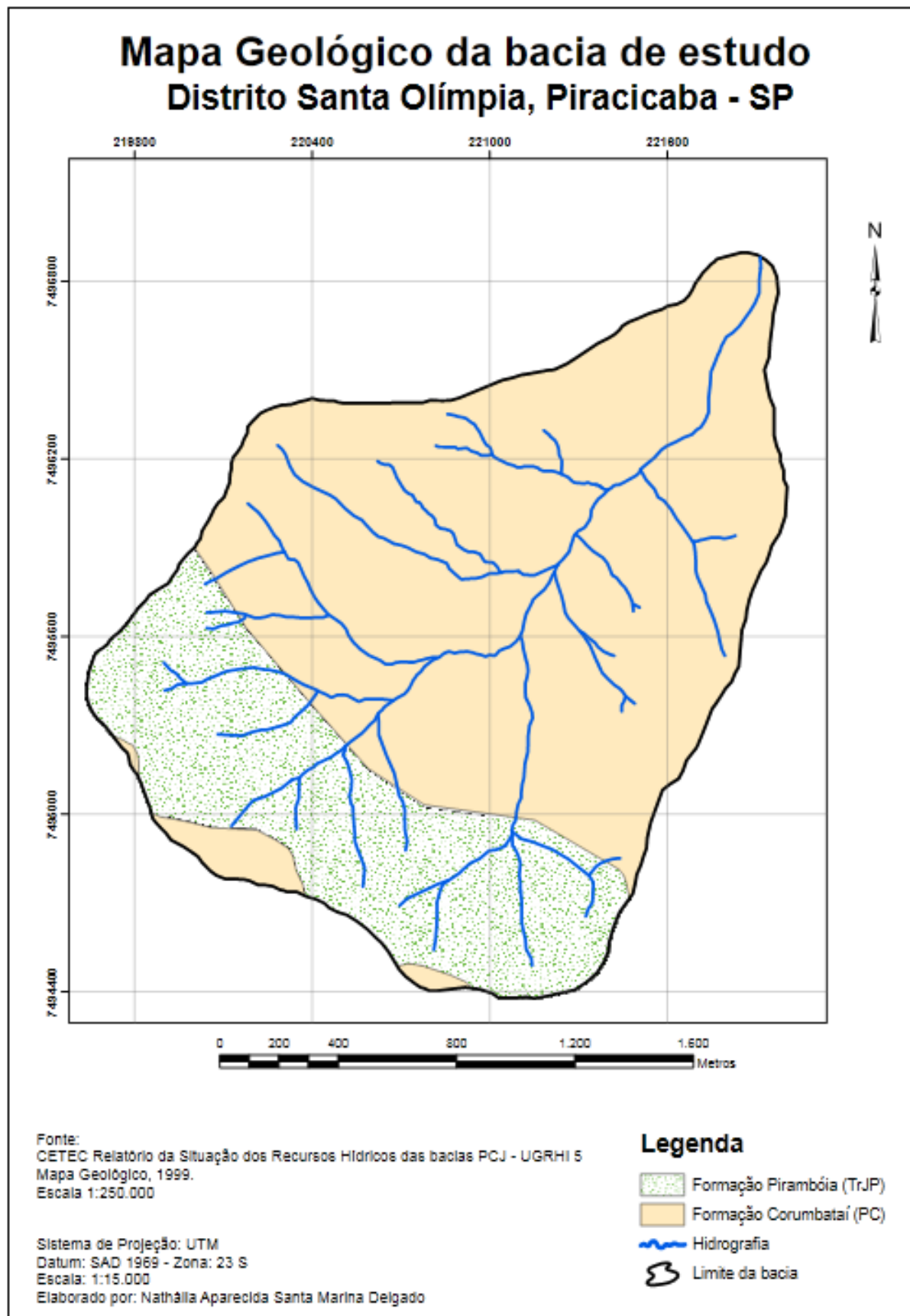


Figura 4. Mapa de Geológico da bacia de estudo.

### *6.1.3 Aspectos altimétricos e Mapa de Declividade*

Por meio dos dados altimétricos obtidos na Planta Cartográfica Santa Olímpia e na Planta Cartográfica Córrego das Ondas, elaborou-se o Mapa de Declividade da bacia (Figura 5).

Observou-se que a bacia não possui áreas com declividade superior a 45°, assim, segundo o Código Florestal, não há a necessidade de APP em tais áreas, a menos que sejam matas ciliares.

Como a área da bacia possui declividade de média à baixa, se considerado esse fator isoladamente, a área é menos propícia a erosão fluvial, conseqüentemente possui baixa vulnerabilidade ambiental. Ressalta-se que a região em que a bacia possui declividade mais acentuada é próxima a nascentes e nas regiões das várzeas, não obstante, a declividade é baixíssima.

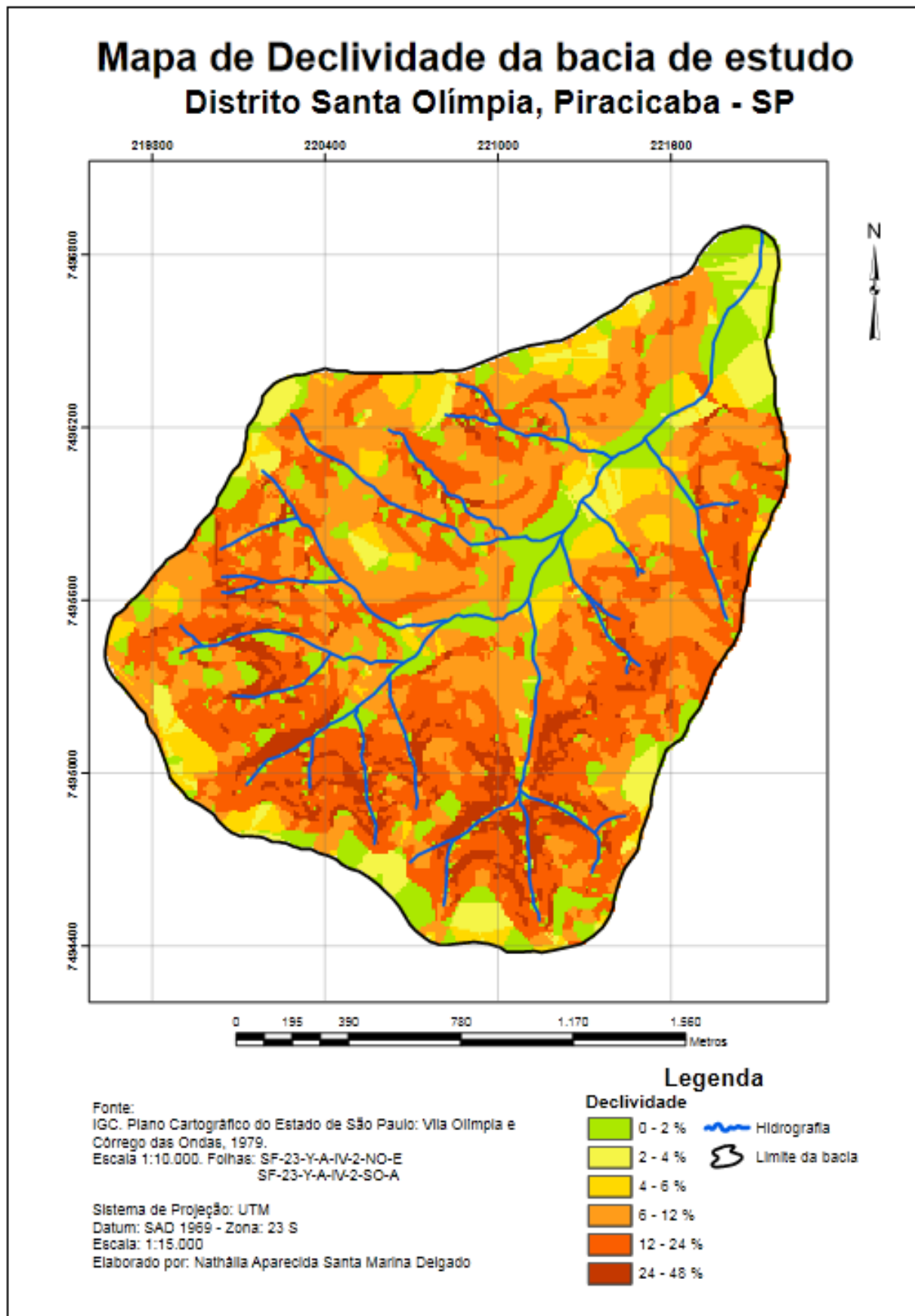


Figura 5. Mapa de Declividade da bacia de estudo.

#### 6.1.4 Mapa do Uso e Ocupação da Terra

As atividades desenvolvidas no presente trabalho permitiram a construção de um material relativamente atualizado da área de estudo, referente ao uso e ocupação da terra. As imagens aéreas de 2007 foram de extrema importância para a identificação de uma maior quantidade de elementos geográficos, como os limites entre o cultivo canavieiro e a área urbana. A visita de campo foi, também, de grande importância, pois forneceu fontes complementares de informações que muitas vezes sanaram dúvidas na interpretação das imagens aéreas.

As feições de uso e ocupação da bacia, com base na interpretação visual das imagens aéreas, resultaram no Mapa de Uso e Ocupação da Terra (Figura 8), com as seguintes classes: área urbana, cultivo de cana-de-açúcar, mata ciliar e área de várzea. Algumas dessas feições podem ser observadas na Figura 6 e Figura 7.



Figura 6. Foto da visita de campo com duas feições do uso e ocupação da terra.



Figura 7. Foto aérea do distrito Santa Olímpia.  
Fonte: Câmara de Vereadores de Piracicaba – SP (2011).



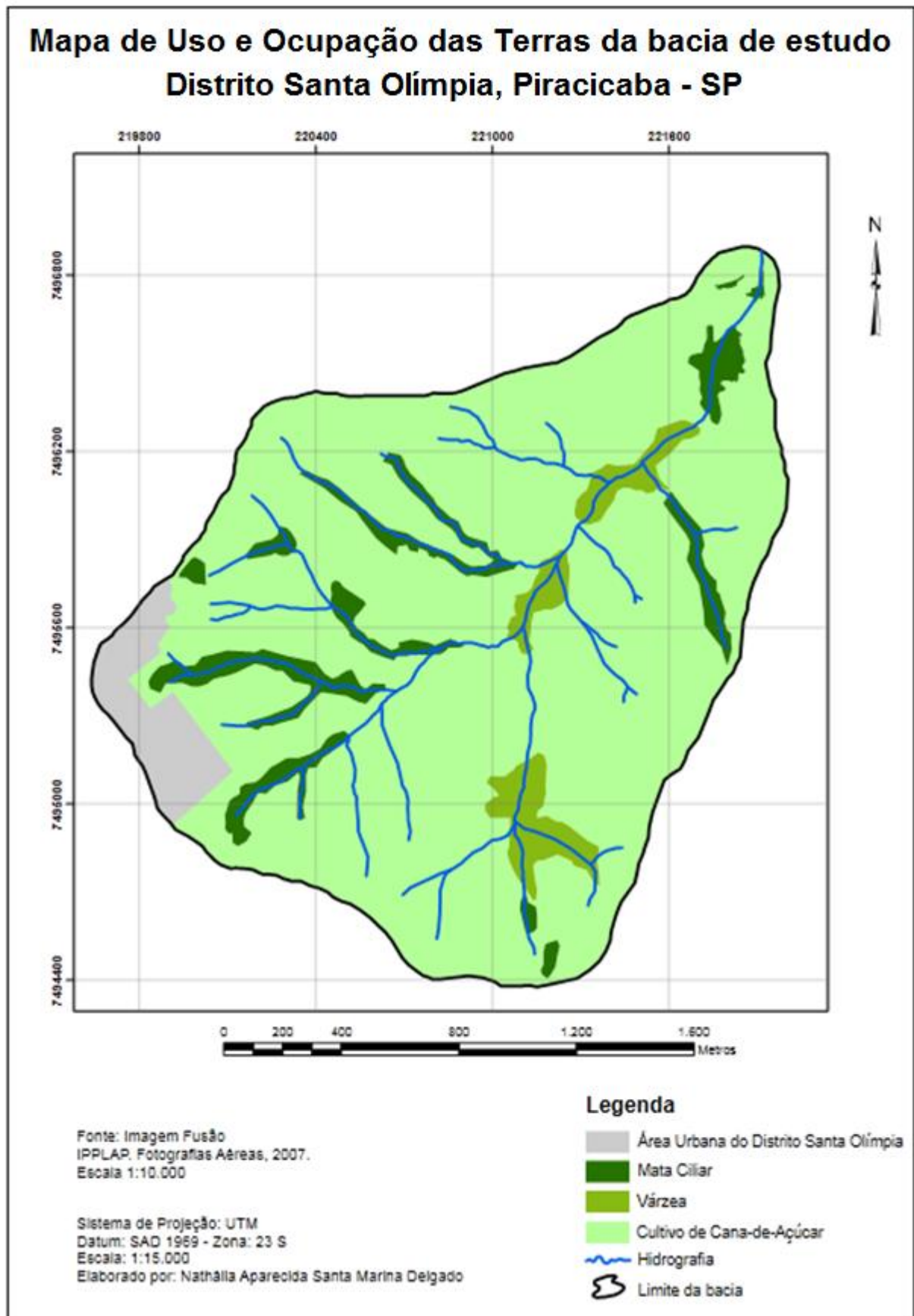


Figura 8. Mapa de Uso e Ocupação das Terras da bacia de estudo.

De posse da Figura 8 pode-se notar claramente a predominância do cultivo de cana-de-açúcar como apresentado na Tabela 7, atingindo, muitas vezes, até a borda de drenagens locais, em desconformidade com a legislação ambiental. No restante da área predominou fragmentos de vegetação, localizados principalmente ao longo de algumas drenagens. Quanto às porções relativas à várzea foram encontradas em parte da área de estudo, próximas a algumas drenagens. Também foram identificadas construções semelhantes a chácaras, denominadas de área urbana.

Tabela 7. Área ocupada por diferentes usos da terra

Uso da Terra	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentagem
Mata Ciliar	269.582,35	7,39 %
Cultivo de cana-de-açúcar	3.060.457,08	83,92 %
Várzea	160.109,36	4,39 %
Área Urbana	156.590,05	4,29 %
Total	3.646.738,84	100 %

Elaboração: DELGADO, 2011.

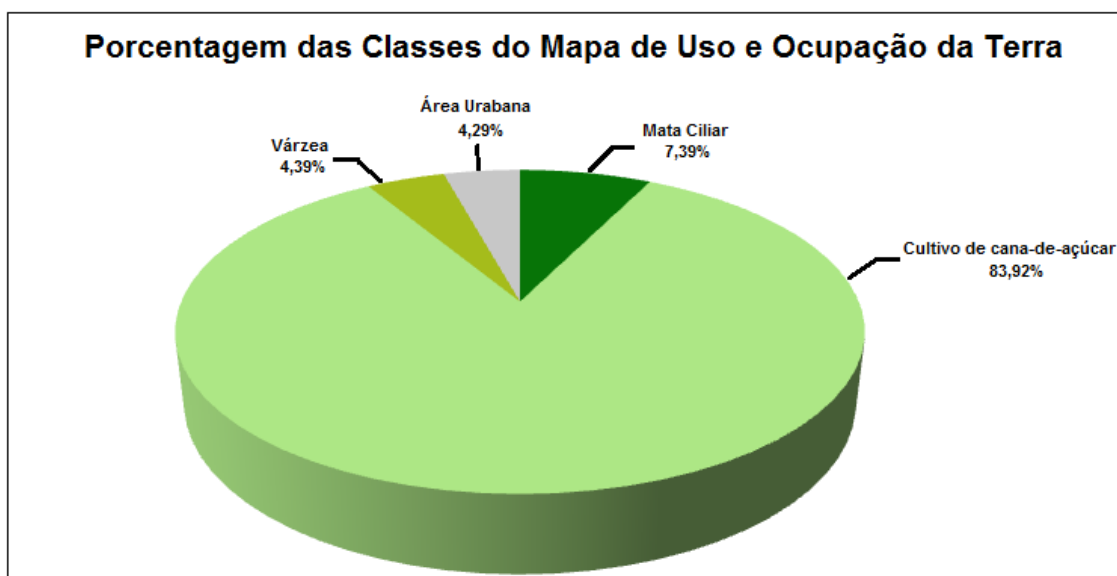


Figura 9. Porcentagem do Uso e Ocupação da Terra na bacia de estudo.

Elaboração: DELGADO, 2011.

Destaca-se que o uso e ocupação das terras é outro fator determinante na vulnerabilidade ambiental da bacia de estudo. Para este mapeamento temático adotou-se que

quanto maior a interferência do uso no meio ambiente e a fragilidade natural do meio, maior será a vulnerabilidade na área.

## 6.2. Análise ambiental das áreas vulneráveis

### 6.2.1. Áreas de Preservação Permanente (APP)

O resultado da sobreposição das áreas de mata ciliar e várzea existente na bacia com as áreas de proteção permanente determinadas pelo Código Florestal foi o Mapa de APP (Figura 10). Este mapeamento aponta áreas que deveriam possuir vegetação ciliar, no entanto, a legislação ambiental em sua maioria não é respeitada.

Tabela 8. Comparação das APP existentes com as APP determinadas pelo Código Florestal.

Uso da Terra	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentagem em relação a área total da bacia (3.646.738,84 m <sup>2</sup> )
APP existente	429.691,71	11,78 %
APP necessária conforme o Código Florestal	1.153.588,81	31,63 %

Elaboração: DELGADO, 2011.

Portanto, considerando-se que 1.153.588,81 m<sup>2</sup> de área de proteção permanente correspondem à dimensão ideal para a bacia de estudo, observa-se que apenas 429.691,71 m<sup>2</sup>, ou seja, 37,24 % da APP exigida pelo Código Florestal são de fato respeitadas.

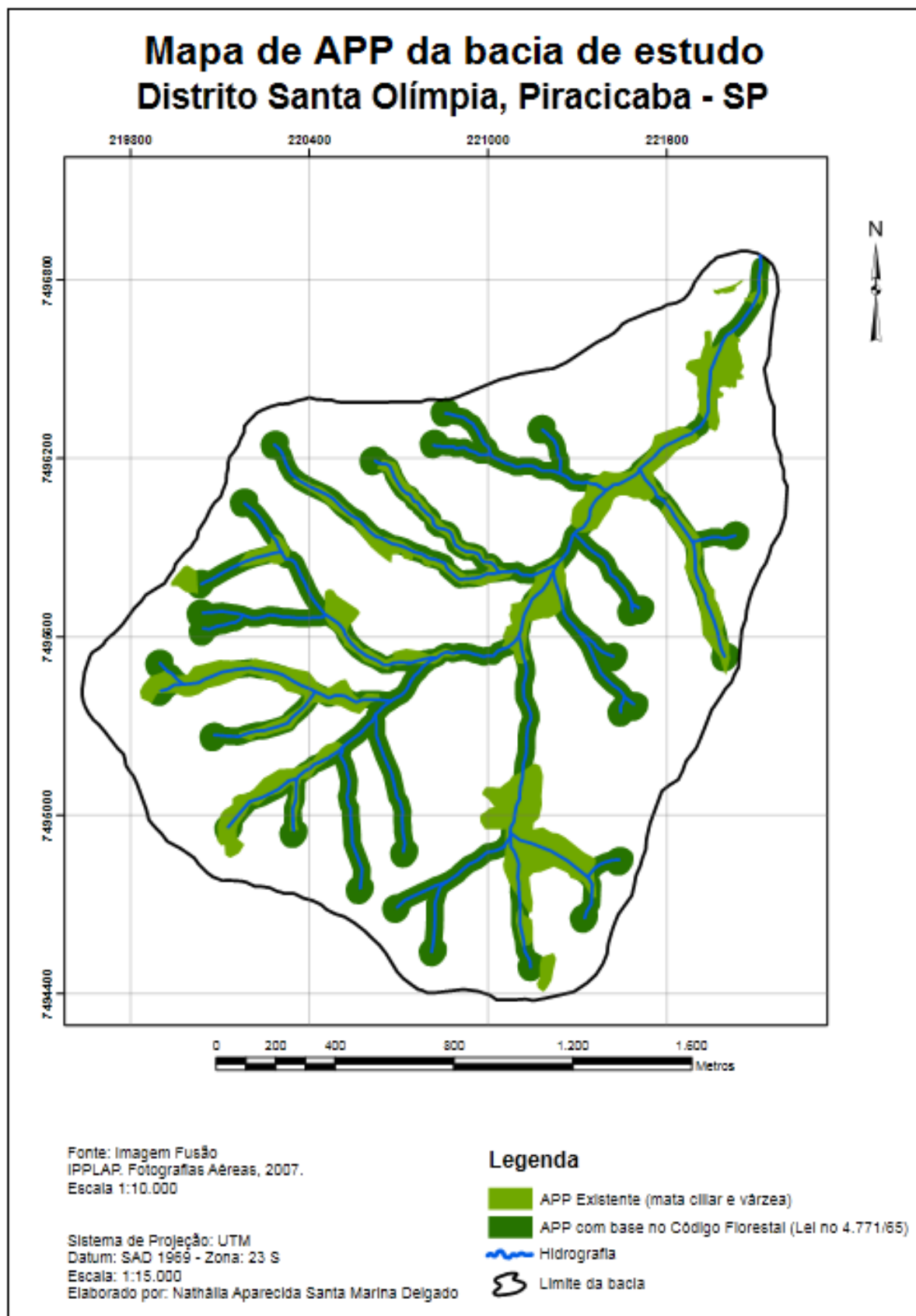


Figura 10. Mapa de Áreas de Preservação Permanente da bacia de estudo.

Levando em consideração a melhor forma de proteção das drenagens presentes na bacia de estudo, foi elaborado o diagnóstico de acordo com o Código Florestal para a classificação final das áreas em conflito. Ou seja, áreas em que não há APP como regulamenta a legislação, foram integradas com o mapa de uso e ocupação da terra, para saber qual o uso que predominantemente ocupa locais que deveriam ser de APP. Assim, foram desconsideradas as feições denominadas mata ciliar e várzea, uma vez que estas estão inseridas na APP existente. As áreas em conflito representam 62,3% da área total de preservação permanente. A Tabela 9 apresenta a proporção de cada uso da terra nessa classe de diagnóstico.

Tabela 9. Classes de uso e ocupação em conflito com as APP.

Uso da Terra	Área em conflito (m <sup>2</sup> )	Porcentagem em relação a APP determinada pelo Código Florestal
Cultivo de Cana-de-açúcar	721.001,5	62,5
Área Urbana	2.895,5	0,25
Total	723.897,1	62,3

Elaboração: DELGADO, 2011.

Deste modo, observa-se que o uso que mais infringe a legislação ambiental é o cultivo de cana-de-açúcar. Obviamente, a área da bacia é predominantemente ocupada pelo cultivo de cana (83,92%). E, uma vez que este uso não é conciliado com as normas presentes no Código Florestal, o cultivo de cana-de-açúcar está entre as principais atividades causadoras de impacto na região. Ressalta-se também que próximo as nascentes há o uso urbano que, por vezes, não respeita os 50 metros de APP ao entorno de nascentes, exigidos pelo Código Florestal.

Ainda, destaca-se que com o novo Código Florestal (PL 1876/99), proposto por Aldo Rebelo, as áreas em conflito devem diminuir. Este novo Código, por exemplo, estabelece a mudança de 30 para 15 metros nas margens de corpos d'água. Dentre as alterações previstas no novo Código Florestal, enfatizam-se a redução da reserva legal; anistia aos que desmataram reservas legais e APP e; redução de APP em cursos d'água, nascentes e olhos d'água.

O novo Código Florestal não foi considerado no presente trabalho, pois até o término da sua elaboração, a votação do mesmo ainda está na pauta do plenário da Câmara dos Deputados. Outro motivo é que o novo Código Florestal tem pontos ainda polêmicos e grande parte da comunidade científica está mobilizada contra a sua aprovação.

#### *6.2.2. Mapa de Vulnerabilidade Ambiental*

A partir do cruzamento dos mapas pedológico, geológico, de declividade e de uso e ocupação do solo, foram gerados 4 cenários de vulnerabilidade ambiental. Após a análise de cada cenário, selecionou-se um mapeamento para caracterizar a vulnerabilidade da área (Figura 11), pois apresenta dados concretos e condizentes com a realidade encontrada nos mapeamentos temáticos já elaborados e no trabalho de campo.

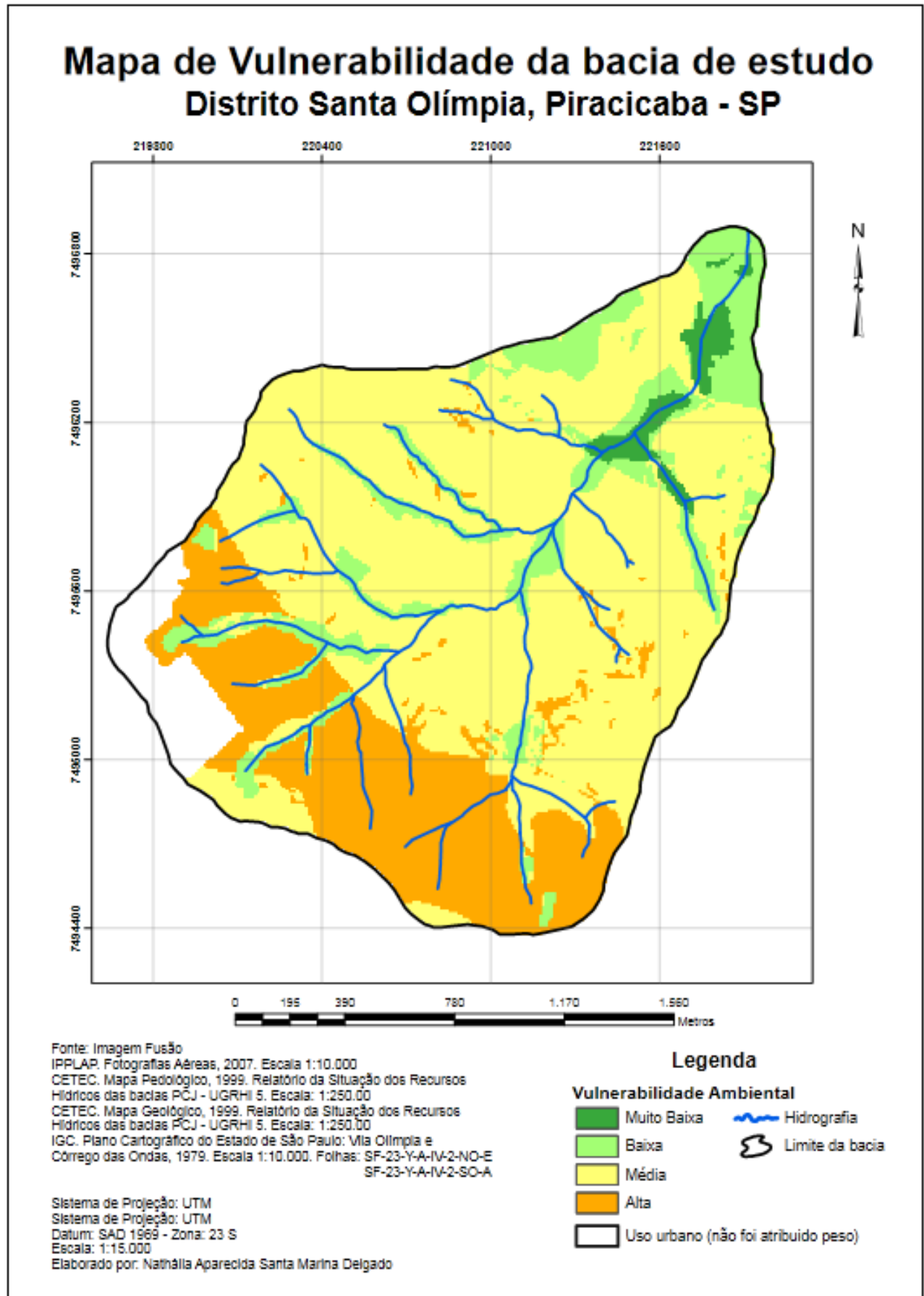


Figura 11. Mapa de Vulnerabilidade Ambiental – Cenário 4.

Devido aos fatores já citados, principalmente a baixa declividade média, a bacia de estudo apresentou 4 classes de vulnerabilidade ambiental: muito baixa, baixa, média e alta. Estas classes estão descritas a seguir:

- Muito baixa vulnerabilidade ambiental: áreas localizadas de maneira pontual em ambos os mapas, próximas a foz da bacia de estudo. Esta região da bacia é caracterizada por apresentar uma declividade menor que 6%, possuir Formação Corumbataí e Latossolo Vermelho. As áreas que possuem baixíssima fragilidade ambiental também apresentam cobertura de mata ciliar.
- Baixa vulnerabilidade ambiental: as manchas de fragilidade ambiental, estão em todas as áreas cobertas por mata ciliar e que apresentam Latossolo Vermelho, independente da declividade. Observa-se, porém que em áreas de várzea, as manchas com baixa vulnerabilidade ambiental são diferenciadas das demais de acordo com a declividade, que varia de 0 a 12%, e em alguns locais variando de 12 a 24%.
- Média vulnerabilidade ambiental: as manchas de média vulnerabilidade são encontradas, em sua maioria na região em que há Latossolos Vermelhos; já onde há Neossolos a mancha de média vulnerabilidade diversifica-se das demais devido à declividade e ao tipo de cobertura. A declividade nesta região limita-se de 0 a 6% e o uso do solo é de cultivo de cana-de-açúcar e alguns resquícios de média vulnerabilidade situam-se em áreas de várzea.
- Alta vulnerabilidade ambiental: observa-se que a mancha de alta vulnerabilidade ambiental é delimitada, em sua totalidade, pelo tipo de solo, Neossolo. A classe de alta fragilidade ambiental possui também o cultivo de cana-de-açúcar como uso do solo e a declividade limita-se ao intervalo de 6 a 48% e à formação Pirambóia.

Diante do exposto, as áreas classificadas quanto à vulnerabilidade ambiental devem ser consideradas na gestão e planejamento da bacia de estudo, de forma a buscar a proteção daquelas mais frágeis ambientalmente.



## CONCLUSÕES

O geoprocessamento como ferramenta de integração de dados de diversas fontes, foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, pois através deste houve a elaboração de todos os mapeamentos realizados.

A bibliografia encontrada, relacionada à temática de vulnerabilidade ambiental, análise multicritério e geoprocessamento, auxiliou para a escolha das metodologias que mais de adequavam ao presente trabalho, permitindo então uma análise crítica para que se desenvolvesse o presente trabalho.

Através dos dados de pedologia e geologia da bacia do PCJ, elaborados pelo CETEC, foi possível elaborar os mapas geológico e pedológico da área, os quais foram imprescindíveis para uma melhor análise da bacia. De posse do mapa pedológico, por exemplo, observou-se que 78,9% da área da bacia é composta por neossolos, fato que, se considerado isoladamente, torna a bacia passível de erosão.

As fotografias aéreas de 2007, cedidas pelo IPPLAP, também foram fundamentais para o trabalho, pois permitiram traçar as feições de cada uso e ocupação da terra, assim como a rede hidrográfica da bacia. Observou-se que a bacia possui 83,92% da área da bacia ocupada pelo cultivo de cana, 3.060.457,08 m<sup>2</sup>. As Cartas Topográficas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, Vila Olímpia e Córrego das Ondas, também foram de suma importância, pois permitiram a obtenção das cotas topográficas e das curva de nível da área, que resultaram no mapa de declividade. Através deste foi possível destacar áreas com declividades mais acentuadas que as demais, porém, observou-se que a bacia possui um relevo relativamente plano.

A elaboração dos mapas temáticos pedológico, geológico, de declividade e de uso e ocupação, foram primordiais para a realização da análise multicritério. Através destes foi possível obter uma melhor compreensão sobre as características físico-naturais da bacia, e suas relações com o uso antrópico.

A análise multicritério foi a base para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade ambiental, objetivo principal do presente trabalho. Essa metodologia é amplamente flexível, pois, permite facilmente a inclusão de dados complementares ou mesmo a reavaliação das informações temáticas e critérios utilizados.

Para os resultados obtidos com o mapa de vulnerabilidade ambiental, observou-se que em geral, para o Cenário 4 (Figura 11), a maior parte da bacia possui média vulnerabilidade ambiental devido principalmente ao cultivo de cana-de-açúcar e a formação Corumbataí. Contudo, as áreas de alta fragilidade ambiental também são significativas, presentes em áreas com alta declividade e na formação Pirambóia. As áreas classificadas como de baixa vulnerabilidade ambiental são encontradas em regiões que possuem mata ciliar e baixa declividade. A diferença entre as áreas de baixa e as áreas de muito baixa vulnerabilidade ambiental, é o tipo de solo, o Neossolo.

Deste modo, observou-se que a vegetação ciliar é muito importante para a preservação do meio físico, quanto à fragilidade ambiental. Com a análise das APP, observou-se que 62,5% das áreas de preservação permanente, estão ocupadas pelo cultivo de cana-de-açúcar. Assim, o principal impacto na bacia hidrográfica é a supressão da vegetação ciliar, motivada pelo não cumprimento da legislação ambiental.

O mapa de vulnerabilidade ambiental engloba características físicas da bacia, aliados ao uso antrópico do meio. Ele permitiu uma melhor compreensão sobre a expansão e localização de áreas mais frágeis ambientalmente e a relação das mesmas com a monocultura de cana-de-açúcar. Portanto, de posse do mapa de vulnerabilidade ambiental, conhecendo-se previamente potenciais áreas sujeitas a impactos ambientais, o mapa interpretativo pode se tornar prescritivo, indicando áreas mais adequadas ao desenvolvimento de projetos específicos.

Perante todas essas informações, com o objetivo de mitigar os efeitos da degradação constatada e proteger as áreas identificadas como sujeitas a essa degradação, espera-se que as mesmas sejam utilizadas como subsídio nas tomadas de decisão por parte dos órgãos governamentais bem como da sociedade civil.

## **RECOMENDAÇÕES**

Primeiramente, salienta-se que para a compreensão da viabilidade das atividades humanas altamente problemáticas em termos ambientais, é fundamental o conhecimento e a discussão acerca da vulnerabilidade ambiental. Contribuindo, assim, para planejamentos ambientais que sejam capazes de abranger e indicar soluções para os problemas que surgem

da integração entre o sistema econômico e o ecológico, garantindo a existência de ambos.

Diante dos resultados apresentados, aconselha-se:

- priorizar a gestão das áreas com alta fragilidade ambiental, próxima as nascentes;
- que áreas de alta vulnerabilidade que são encontradas próximas às drenagens, também denominadas como áreas de proteção permanente, devem ser reflorestadas por meio de uma cobertura vegetal condizente com o clima, tipo de solo e relevo da área;
- que áreas que já possuem mata ciliar devem ser mantidas, e se possível, devem ser aprimoradas, com uma vegetação arbórea que auxilie as vegetações já existentes, favorecendo o *clímax* ;
- de maneira preventiva, para que o cultivo de cana-de-açúcar não ultrapasse as delimitações legais abordadas no Código Florestal, recomenda-se que haja uma barreira, como uma cerca, delimitando os usos;
- também, algumas técnicas de manejo do solo pelos agricultores, tais como aplicação de curva em nível e rotação de culturas, ou seja, a mudança de cultura periodicamente, para que o solo permaneça com suas propriedades físico-químicas.

Em suma, os proprietários rurais devem buscar se adequar às leis ambientais e aplicar técnicas de manejo que minimizem os impactos. Mas para isto, é necessário que os agricultores tenham acesso a informações que contribuam para o entendimento das conseqüências da atividade que realizam e da legislação, além de incentivos econômicos.

Em relação à expansão indiscriminada do cultivo de cana-de-açúcar é imprescindível que os problemas socioambientais associados sejam considerados de modo eficaz por todos os que interferem no uso, direta ou indiretamente.

Por fim, as situações abordadas apontam à necessidade do estabelecimento de um zoneamento ecológico econômico para essa área, sobretudo considerando o potencial de expansão da cultura da cana sobre uma área de influência de drenagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-Açúcar:** subsídios para a gestão. Piracicaba: USP, 2007. Disponível em: <[www.homologa.ambiente.sp.gov.br](http://www.homologa.ambiente.sp.gov.br)>. Acesso em: 25 set.2010.
- BACIAS HIDROGRAFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Gestão de Bacias:** Relatórios da Situação. Disponível em: <[www.agenciadeaguapcj.org.br](http://www.agenciadeaguapcj.org.br)>. Acesso em: 22 set.2010.
- BARRETTO, A. G. O. P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. A. **Atlas rural de Piracicaba.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, 2006. 74 p.
- BERRÍOS, M. **Degradação Ambiental na Bacia do Rio Piracicaba (SP).** 1993. 179 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico econômico pelos estados da Amazônia Legal.** Brasília: MMA, 1997. 38. Disponível em: <[www.laget.igeo.ufrj.br/egler/pdf/Metodo\\_ZEE.pdf](http://www.laget.igeo.ufrj.br/egler/pdf/Metodo_ZEE.pdf)>. Acesso em: 05 jul.2011.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 15 de set. 1965.
- CÂMARA, G; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara, G; Davis, C; Monteiro, A. M. V. (Org). **Introdução a Ciência de Geoinformação.** São José dos Campos: Ministério de Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.
- CETEC. Fundação Paulista de Tecnologia e Educação Centro Tecnológico. **Mapa Pedológico: Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias Piracicaba Capivari e Jundiaí – UGRHI 5.** Lins. 1999. Escala 1:250.000.
- CETEC. Fundação Paulista de Tecnologia e Educação Centro Tecnológico. **Mapa Geológico: Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias Piracicaba Capivari e Jundiaí – UGRHI 5.** Lins. 1999. Escala 1:250.000.
- COSTA, T. C. C; UZEDA, M.C.; FIDALGO, E. C. C.; LUMBRERAS, J. F; ZARONI, M. J.; NAIME, U.J ET AL. **Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 21-26 abril 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2493-2500.

DIAS, J. E.; GOES, M. H. de B.; DA SILVA, J. X.; GOMES, O. V. **O Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda-RJ**, In: da Silva, J. X.; Zaidan, R. T. (Org.). Geoprocessamento & Análise Ambiental: aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GONÇALVES, D. B. **Mar de Cana, Deserto Verde?** Dilemas do Desenvolvimento Sustentável na Produção Canavieira Paulista. 2005. 259 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2005. Disponível em: <www.bdt.d.ufscar.br>. Acesso em: 05 set.2010.

GOVÁGUA. **Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ)**. Disponível em: <www.usp.br/procam/govagua/pcj.php>. Acesso em: 08 jun. 2011.

IBGE. Cidades@. **São Paulo: Piracicaba (SP)**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=353870#>. Acesso em: 06 jun.2011.

JORDÃO, C. O.; MORETTO, E. M.; **Vulnerabilidade ambiental e a monocultura de cana-de-açúcar**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, V, 19., 04-07 outubro 2010, Florianópolis. Anais... Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. p. 1657-1664.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. São Paulo: Malheiros Editores, 10a Ed. rev. E ampl., 2002. 1038p.

MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S. **Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges**. Ecological Applications, S.I. v. 18, n. 4, p. 885-898, 2008, Disponível em:< www.tamu.edu/faculty/tpd8/BICH407/Brazilenvsoc2.pdf >. Acesso em: 19 set.2011.

OLIVEIRA, A.M.S ; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo. ABGE, 1998.

PEREIRA, C. A. C. **Direito ambiental e constituição: a educação ambiental como parâmetro para implantação do desenvolvimento sustentável**. 2006. 156f. Dissertação (Direito em Mestrado Internacional) – Faculdade de Direito do Sul de Minas, Curitiba, 2006.

REIS, E. P. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – UFMG, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2011.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994

PIRACICABA (SP). Secretaria Municipal de Obras. **Plano Diretor**. Piracicaba, 2006.

PIRACICABA (SP). Câmara de Vereadores de Piracicaba. **Câmara aprova denominação de ruas em Santa Olímpia**. Disponível em:

<<http://www.camarapiracicaba.sp.gov.br/camara07/index1.asp?id=4820&vereador=M%E1rcia%20Gondim%20C.%20C.%20Dias%20Pache>>. Acesso em: 06 jun.2011.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. S. Paisagens, condicionantes e mudanças. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 15-22

STRAPASSON, A. B.; JOB, L. C. M. A. Ethanol, Environment and Technology: Reflections on the Brazilian experience. **Revista da Política Agrícola**, Brasília, v. 1, n. 3, p. 50-62, 2007, Disponível em:< [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br) >. Acesso em: 29 set.2010.

TAGLIANI, C. R. A; **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 8., 05-10 abril 2003, Belo Horizonte. Anais... Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. p. 1657-1664

THOMÉ, R. **Interoperabilidade em geoprocessamento conversão entre modelos conceituais de sistemas de informação geográfica e comparação com o padrão open GIS**. 1998. 201f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1998.

ÚNICA. União da Indústria de Cana-de Açúcar. **Setor Sucroenergético**. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: 18 set. 2010.

## **APÊNDICE - Detalhamento de algumas metodologias, utilizadas no software Arcgis**

### *Elaboração da Base Cartográfica Digital da bacia hidrográfica analisada*

O georreferenciamento das cartas Vila Olímpia e Córrego das Ondas ocorreu através da ferramenta *Georeferencing*. Utilizando-se a ferramenta de desenho *Editor - Start Editing* do ARCGIS, as informações disponíveis na carta foram vetorizadas, separadas em *layers* distintos (planos de informação), abrangendo o limite da bacia, as curvas de nível e os pontos cotados. Vale salientar, que a informação de drenagem foi extraída da Planta Cadastral Digital da área, fornecida pelo IPPLAP. Deste modo, foi gerada a base cartográfica digital, no formato vetorial, permitindo-se elaborar os mapas temáticos de declividade e de APP.

O cálculo das áreas de algumas feições foi feito automaticamente através do Arcgis, utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* dentro da tabela de atributos, a fim de obter um melhor diagnóstico ambiental da área.

### *Mapa de Declividade*

Através dos recursos de desenho e edição no ambiente do SIG/Arcgis, as curvas de nível, os pontos cotados e a drenagem foram digitalizados, a partir das cartas Vila Olímpia e Córrego das Ondas.

Assim, foram utilizadas curvas de nível com equidistância de 5 m. Os dados das curvas de nível extraídas em formato *shapefile*, com os respectivos atributos de cota, demonstraram para a área uma amplitude altimétrica de 90 metros, variando de 480 m (cota mínima) até 570 m (cota máxima).

Para a aplicação do método interpolador de malha triangular, foi utilizada a ferramenta *3D Analyst - Create/Modify TIN - Create TIN from Features*, gerando-se um TIN.

Após a geração do TIN, utilizou-se a função *slope* para reclassificá-lo e gerar o mapa de declividade, com 6 intervalos de classes em porcentagem.

### *Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP)*

Para elaborar o mapa com as faixas destinadas a APP, utilizou-se um *buffer* de 30 ou 50 metros, no Arcgis. Por fim, os dados das APP existentes em 2007 foram sobrepostos aos dados do buffer gerado segundo a legislação.

### *Mapa Geológico e Pedológico*

Ao importar para o Arcgis, os mapas pedológico e geológico das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), foram georreferenciados e a área da bacia de estudo foi recortada, através da ferramenta *Clip* presente no menu *Arc Tool Box* do ARCGIS.

### *Mapa de vulnerabilidade ambiental*

Para o tratamento dos dados, houve a conversão dos dados dos mapas temáticos para o formato *raster*. Vale salientar, que para inserir o mapa de Declividade na análise multicritério, foi necessário realizar a transformação do valor classificado para o formato valor único, utilizando-se a ferramenta *Reclass-Reclassify*. Nos demais mapas, para transformar o vetor em *raster*, utilizou-se a ferramenta *Conversion tools - to Raster - Polygon to Raster*.

Para a elaboração do cruzamento dos mapas temáticos, utilizou-se a ferramenta *Spatial Analyst Tools – Overlay – Weighted Overlay*.