

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LORENA FERRARI SECCHIN

Caracterização Ambiental e Estimativa da Produção de Cargas Difusas
da Área de Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2012

LORENA FERRARI SECCHIN

Caracterização Ambiental e Estimativa da Produção de Cargas Difusas
da Área de Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof^a. Tit. Maria do Carmo Calijuri

Versão Corrigida

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento ao
Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Secchin, Lorena Ferrari.

S444c Caracterização ambiental e estimativa da produção de
cargas difusas da área de drenagem da represa de Itupararanga, SP. / Lorena
Ferrari Secchin; orientador Maria do Carmo Calijuri. São Carlos, 2012.

Dissertação – Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Hidráulica e Saneamento)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2012.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **LORENA FERRARI SECCHIN**.

Título da dissertação: "Caracterização ambiental e estimativa da produção de cargas difusas da área de drenagem da represa de Itupararanga, SP".

Data da defesa: 24/05/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof.^a. Titular **Maria do Carmo Calijuri (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Dmouids

Prof. Dr. **André Cordeiro Alves dos Santos**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar-campus de Sorocaba)

Aprova da

Prof.^a. Dr.^a. **Patrícia Bortoletto de Falco**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

À minha família,
que sempre acreditou que eu daria certo.
Aos que intercederam
por cada passo, por cada decisão e hoje colhem comigo os frutos da confiança em
Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua fidelidade, foi a minha força e minha determinação.

Aos meus pais, por sempre apoiarem as minhas decisões.

Aos meus irmãos, companheiros nas alegrias e nas batalhas.

Ao Ciro, por sonhar comigo e incentivar minhas aspirações profissionais.

À Prof.^a Maria do Carmo, que muito contribuiu para meu crescimento científico e intelectual.

A todos os colegas do BIOTACE, pela companhia e pela ajuda diária.

Ao Leonardo Assis, cujos ensinamentos foram cruciais para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao SIGEO-UFV e à Prof.^a Maria Lúcia, por abrir as portas de seu laboratório para que eu pudesse obter as ferramentas necessárias para o início dos trabalhos.

Ao Antônio Calazans, pelas dicas indispensáveis para o seguimento da pesquisa.

À Nathee, que não mediu esforços para me ajudar desde que chegou a São Carlos.

À minha querida Comunidade, por toda intercessão e suporte.

Ao Ministério Universidades Renovadas, por trazer Deus e amor ao ambiente universitário.

A todo o pessoal do Vôlei-CAASO, onde reencontrei a paixão pelo esporte.

Ao Acampamento Manaain, pelos ensinamentos no serviço a Deus.

A todos os amigos e familiares que me incentivaram a continuar alçando voos mais distantes.

À Ellen por toda acolhida e abrigo nos primeiros dias de São Carlos.

À Escola de Engenharia de São Carlos, pela oportunidade de realizar o mestrado.

A CAPES e ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro para a realização das campanhas de campo.

"Aprender é a única coisa de que a mente não se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende."

Leonardo Da Vinci

RESUMO

SECCHIN, L. F. **Caracterização Ambiental e Estimativa da Produção de Cargas Difusas da Área de Drenagem da Represa de Itupararanga, SP**. 2012. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

O uso de imagens de satélite tem aprimorado o estudo da dinâmica do uso do solo. Os mapeamentos da cobertura da terra se tornaram instrumentos fundamentais na avaliação das alterações na paisagem provocadas pela ação antrópica e sua influência sobre o planejamento regional e urbano. A utilização de ferramentas computacionais como os Sistemas de Informação Geográfica e os modelos hidrológicos têm auxiliado essas avaliações. O modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura norte-americano, é um modelo de base física e parâmetros distribuídos, auxiliado por uma interface gráfica de software GIS. Por seu valor ambiental e econômico, a caracterização ambiental da área de drenagem da Represa de Itupararanga, com 936,54 km², localizada no estado de São Paulo, tem fundamental importância e a utilização de dados atuais permite que o estudo da área seja mais preciso no que diz respeito aos seus resultados. A partir de imagens do sensor Liss 3 do satélite ResourceSat-1, foi produzido o mapa atual de uso e ocupação do solo através da classificação supervisionada de máxima verossimilhança, validada por coletas de campo de ponto de controle com índice Kappa de 0,64 e índice de exatidão global de 71%. Os parâmetros morfológicos demonstraram que a área de estudo é bem drenada e possui baixa probabilidade de enchentes. A modelagem hidrológica foi calibrada para o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2008 e resultou em coeficiente de eficiência de 0,41 e tendência percentual de 0%. A validação alcançou resultado de 0,301 e 5,5% para estes avaliadores, valores de ajuste considerados aceitáveis. Foram encontrados os valores de 9,66 e 1,5 para nitrogênio e fósforo, respectivamente, em kg.ha⁻¹.ano⁻¹, para os valores de poluição difusa, resultados elevados na comparação entre pesquisas com este foco. A comparação entre cenários identificou a necessidade de adotar práticas conservacionistas através do planejamento da ocupação para tornar sustentáveis as atividades dentro bacia e atenuar as pressões sobre os recursos naturais.

Palavras-chave: Morfologia, modelagem hidrológica, SWAT, geoprocessamento, poluição difusa.

ABSTRACT

SECCHIN, L. F. **Environmental Characterization and Estimative of Diffuse Pollution of Itupararanga Watershed, SP.** 2012. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

The use of satellite images has improved the study of the land use dynamics. Land cover mapping have become fundamental tools in the assessment of landscape changes caused by human action and its influence on regional and urban planning. Computation tools such as Geographic Information Systems and hydrological models have supported these findings. The hydrological model SWAT (Soil and Water Assessment Tool), developed by U. S. Agriculture Department, a model physically based and semi-distributed parameters with a GIS graphical interface. Due your environmental and economic value, the morphologic characterization of Itupararanga watershed, with 936,54 km², located in São Paulo state, have fundamental relevance and use of current data allows the study be more accurate. From images of Liss 3 sensor of ResourceSat-1 satellite, the current land use map was produced through supervised classification by maximum likelihood method and validated by control points on field collection, resulting in Kappa coefficient of 0.64 and overall accuracy rate of 71%. The morphological parameters showed that watershed is well drained and has low probability of flooding. The hydrological modeling was calibrated from January of 2005 to December of 2008 and had efficient value of 0.41 and trend rate of zero. Validation reached results of de 0.301 and 5.5% for these coefficients, considered acceptable for adjust values. Were found values of 9.66 and 1.5 for nitrogen and phosphorus, in kg.ha⁻¹.year⁻¹, respectively. for the values of diffuse pollution, high results in comparison between studies with this focus. The comparison between scenarios indentified the need to adopt conservation practices through occupation planning to make the activities inside the basin and mitigate the pressure on natural resources.

Palavras-chave: Morphology, hydrological modelling, SWAT, geoprocessing, non-point source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica.....	27
Figura 4.1	Localização da Área de Estudo.....	31
Figura 4.2	Interação entre SIG e SWAT.....	39
Figura 5.1	Mapa Hidrográfico	53
Figura 5.2	Composição Colorida RGB-543.....	55
Figura 5.3	Mapa de Uso e Ocupação do Solo	57
Figura 5.4	Mapa Geológico.....	61
Figura 5.5	Mapa Geomorfológico.....	65
Figura 5.6	Mapa Geotécnico.....	69
Figura 5.7	Mapa Pedológico (Grandes Grupos).....	71
Figura 5.8	Mapa Pedológico	73
Figura 5.9	Mapa de Curvas de Nível	77
Figura 5.10	Mapa de Altimetria.....	79
Figura 5.11	Mapa de Declividade.....	81
Figura 5.12	Curva Hipsométrica	84
Figura 5.13	Vazão Observada X Precipitação no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2010.....	85

Figura 5.14	Mapa de Sub-bacias SWAT	89
Figura 5.15	Comparação entre valores de precipitação e vazão observados e simulados - Calibração.....	91
Figura 5.16	Calibração e Validação da Simulação feita no SWAT	93
Figura 5.17	Cenário 1 – Conservativo - Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	97
Figura 5.18	Cenário 2 – Expansão Desordenada - Mapa de Uso e Ocupação do Solo	99
Figura 5.19	Mapa de Uso e Ocupação do Solo produzido por TSUHAKO (2004).....	101
Figura 5.20	Comparação dos Cenários.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Índice do coeficiente Kappa de acordo com o conceito do desempenho da classificação.....	35
Tabela 4.2	Classes de Declividade.....	38
Tabela 4.3	Capacidade de Água disponível no solo segundo a Classe Textural...	41
Tabela 4.4	Capacidade de Água disponível no solo segundo a Classe Textural...	41
Tabela 4.5	Localização da Estação Meteorológica.....	41
Tabela 4.6	Localização das Estações Pluviométricas.....	42
Tabela 5.1	População e Ocupação do Território da Bacia de Itupararanga.....	49
Tabela 5.2	Características morfométricas da área de drenagem da Represa de Itupararanga.....	51
Tabela 5.3	Área relativa das Classes de Uso e Ocupação do Solo.....	59
Tabela 5.4	Divisões Geológicas, área de ocorrência e área relativa na bacia.....	63
Tabela 5.5	Descrição e Cobertura relativa das Classes Geomorfológicas	64
Tabela 5.6	Área relativa das classes de declividades na bacia	83
Tabela 5.7	Curva Hipsométrica da Bacia de Itupararanga.....	83
Tabela 5.8	Parâmetros Climáticos da Estação Sorocaba.....	86
Tabela 5.9	Vazões Médias Observada e Calibrada	87
Tabela 5.10	Comparação de Resultados de Poluição Difusa.....	94

Tabela 5.11	Área relativa das Classes de Uso e Ocupação do Solo de acordo com cada cenário.....	104
-------------	---	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	22
2.1.	Objetivo Geral.....	22
2.2.	Objetivos Específicos.....	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1.	Meio Ambiente e sua Ocupação	23
3.2.	Tecnologia e Processamento da Informação Geográfica.....	24
3.3.	Poluição Difusa.....	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1.	Área de Estudo.....	29
4.2.	Materiais cartográficos e digitais.....	33
4.3.	Equipamentos.....	34
4.4.	Programas (Softwares).....	34
4.5.	Metodologia	34
4.5.1.	Classificação da Imagem Orbital	34
4.5.2.	Geração dos Mapas e Parâmetros Morfológicos	36
4.5.3.	Coeficiente de Compacidade.....	36
4.5.4.	Fator de Forma.....	36
4.5.5.	Índice de Circularidade	37
4.5.6.	Densidade de Drenagem.....	37
4.5.7.	Declividade e Altitude	37
4.6.	Soil And Water Assessmet Tool - SWAT	38
4.6.1.	Definição do número de sub-bacias.....	39
4.6.2.	Dados de Entrada.....	40
4.6.3.	Componentes do SWAT	42
4.6.4.	Calibração do modelo.....	46
4.7.	Análises Estatísticas	47
4.8.	Simulação de Cenários.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1.	Levantamento Socioeconômico dos Municípios.....	49
5.2.	Mapas Fisiográficos e Parâmetros Morfológicos.....	50
5.2.1.	Parâmetros Morfológicos.....	50
5.2.2.	Mapa de Uso e Ocupação do Solo	51

5.2.3. Geologia	59
5.2.4. Geomorfologia	64
5.2.5. Geotecnia	67
5.2.6. Pedologia.....	67
5.2.7. Topografia	75
5.3. Simulação Computacional - SWAT	84
5.3.1. Calibração e Validação do modelo.....	87
5.3.2. Poluição Difusa	94
5.4. Cenários	96
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
Apêndice A	113

1 INTRODUÇÃO

É notável a crescente pressão exercida sobre os recursos naturais em vista do crescimento econômico, e o meio ambiente não tem absorvido com devida eficiência as alterações que as atividades antrópicas tem imposto ao equilíbrio dos ecossistemas. A sustentabilidade tem se tornado pré-requisito para o exercício das atividades essenciais à sociedade ao buscar o equilíbrio entre preservação e desenvolvimento. Dessa forma, a utilização de ferramentas de gestão dos recursos naturais e de planejamento são fundamentais para alcançar essa condição.

O planejamento e gerenciamento territorial requerem o diagnóstico da área de interesse e abrangem as caracterizações fisiográfica, biológica e sócio-econômica. O conjunto dessas variáveis possibilita a compreensão da amplitude dos impactos causados pelas atividades existentes na bacia hidrográfica sobre os recursos naturais.

Definida como unidade de planejamento pelo seu conjunto de características, a bacia hidrográfica agrupa a dinâmica das interações de todos os eventos que ocorrem dentro de seus limites e que são refletidos pela qualidade da água na seção de saída. Dessa forma, o diagnóstico da bacia depende de uma série de fatores como clima, tipo de solo, relevo, hidrografia, tipo de vegetação, entre outros. A complexidade de se analisar esses fatores em conjunto resultou na criação de modelos matemáticos que buscam refletir a realidade, simplificando a manipulação dos dados e a obtenção de resultados.

A utilização de modelos matemáticos acoplados a um ambiente computacional tem possibilitado a inserção de um número cada vez maior de variáveis e tem permitido uma melhor correlação entre a realidade com os resultados das modelagens.

O progresso tecnológico tem aperfeiçoado a maneira de realizar os estudos ambientais. Tecnologias como o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas permitem que resultados sejam obtidos com maior rapidez e qualidade, aliados também a um menor custo na aquisição de dados.

A bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga, localizada no estado de São Paulo, é uma importante componente da Bacia do Rio Sorocaba. A represa, construída em 1912, é responsável pelo abastecimento de água para cerca de 800 mil pessoas e pelo fornecimento de energia elétrica para Companhia Brasileira de Alumínio. Devido ao seu valor econômico e ambiental, toda a área de drenagem da Represa foi convertida em Área de Preservação Ambiental em 2003.

Este estudo visa reunir e analisar as características fisiográficas e os impactos do uso do solo da Bacia de Itupararanga fazendo uso de técnicas de geoprocessamento e contribuindo para a busca da sustentabilidade ambiental da bacia.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Caracterizar a bacia hidrográfica de Itupararanga, SP, por meio de produtos cartográficos e técnicas de geoprocessamento e estimar a carga difusa que influencia nos parâmetros de qualidade da água da represa.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Gerar os mapas característicos (hidrográfico, geológico, geomorfológico, geotécnico, pedológico e topográfico) da bacia hidrográfica de Itupararanga – SP;
- ✓ Obter o mapa de Uso e Ocupação do Solo utilizando imagens orbitais do Sensor Liss 3 do satélite IRS-P6 (ResourceSat-1);
- ✓ Estimar a poluição difusa na represa utilizando-se o modelo computacional SWAT.
- ✓ Comparar cenários prospectivos para a bacia sem intervir nos padrões de expansão de uso e ocupação do solo e ao aplicar práticas conservacionistas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Meio Ambiente e sua Ocupação

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída e é composta por conjunto de superfícies vertentes e por uma rede de drenagem que resultam em um leito único (TUCCI, 2009). Além de sua definição e da determinação de seu uso como unidade de estudo, conforme a Lei Federal 9.433/1997, as bacias hidrográficas se tornaram importantes unidades no gerenciamento de atividades como uso e exploração dos recursos naturais em função de suas características, como afirma Moro (2005).

A produção de cartografia de ocupação do solo tem importância estratégica em áreas como ordenamento e planejamento do uso da terra, estudos ambientais e suporte à decisão (COSTA *et al.*, 2008). Para a produção de mapas de uso e ocupação do solo, é necessária a distinção de classes que agrupem as atividades e paisagens com características em comum.

Anderson *et al.* (1976) dizem que as classes de uso e ocupação da terra estão relacionadas às atividades antrópicas e ao material com que determinada atividade recobre a superfície do terreno.

A evolução natural e as atividades humanas têm resultado em mudanças cada vez mais aceleradas do ambiente e dos recursos terrestres. Para entender a complexa relação dos fenômenos que causam essas mudanças, é necessário fazer diversas observações com uma série de dados do espaço e escalas no tempo (VIEIRA, 2000).

Brito & Prudente (2005) ressaltam a extrema importância do conhecimento do uso da terra como uma ferramenta para planejadores e legisladores, pois ao verificar a utilização do solo em determinada área, pode-se elaborar uma melhor política de uso da terra para o desenvolvimento da região.

3.2. Tecnologia e Processamento da Informação Geográfica

O geoprocessamento corresponde ao conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem abrangendo as áreas como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (ROSA & BRITO, 1996; CÂMARA *et al.*, 2010).

Esta ciência faz uso de programas computacionais no tratamento e manipulação de informações geográficas. O sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são exemplos dessa tecnologia, de acordo com Carvalho *et al.* (2000).

De acordo com Rosa (2007), o sensoriamento remoto é a forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo e segundo Crosta (1993), tem como principal função fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a obtenção das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação, a partir da diferenciação das composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, e outras coberturas.

Os dados obtidos a partir de satélites propiciam coberturas repetitivas da superfície terrestre em intervalos de tempo relativamente curtos. Isto tem propiciado a ampla utilização dos sistemas de sensoriamento remoto para o mapeamento da cobertura terrestre e no monitoramento dos recursos naturais servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, entre outros (PRADO, 2009; CROSTA, 1993). Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (CÂMARA *et al.*, 2010).

Para distinguir a capacidade dos sensores a bordo dos diferentes tipos de satélites, dois critérios geralmente são aplicados: resolução espectral e resolução espacial. A resolução espectral vem a ser a capacidade de um sensor de medir a reflectância de determinada faixa de comprimento de onda eletromagnética, assim sendo, uma banda espectral mais estreita significa a resolução mais alta. Já a resolução espacial é definida como a capacidade que um sensor apresenta na identificação de um alvo-padrão na superfície terrestre (LIU, 2006).

Segundo Fonseca (2000), as imagens orbitais contêm distorções que devem ser corrigidas antes de serem utilizadas nas aplicações e algumas dessas correções são feitas na estação de recepção das imagens. A etapa de correção dessas distorções pode ser composta por correções radiométrica ou geométrica e constitui um dos pré-processamentos da imagem mais importantes.

A correção radiométrica de imagens orbitais objetiva eliminar os fatores que alteram a reflectância dos alvos causada por distorções na calibração dos detectores do sistema sensor ou por influências atmosféricas (JENSEN, 1996). A correção geométrica corrige erros devido à curvatura da Terra e do terreno imageado, à inclinação do eixo de rotação da Terra e a diferentes forças centrífugas que interferem no movimento do sensor (STEIN *et al.*, 1999).

Essa correção pode ser realizada através do georreferenciamento em que são utilizadas funções polinomiais que relacionam as localizações de *pixels* em uma imagem com as coordenadas correspondentes na superfície terrestre, pela utilização de pontos de controle (PCs). Os PCs são obtidos por meio de sistemas de posicionamento por satélites, métodos topográficos, ou, ainda, obtidos diretamente sobre um documento cartográfico georreferenciado (CROITORU *et al.*, 2004).

As imagens de satélites coletam informações sobre superfície que podem ser utilizadas através do processo de classificação. Esse processo identifica diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais distintos que permitem a sua classificação. A classificação digital de imagens relaciona cada *pixel* da imagem a determinada classe, agrupando os resultados similares em determinado tema, predeterminado ou não (CROSTA, 1993).

A classificação não supervisionada é baseada em medidas de similaridade entre os *pixels*, em que o usuário não informa o número nem quais são as classes que devem ser encontradas durante a classificação (FONSECA, 2000).

Na classificação supervisionada, o usuário seleciona amostras representativas para cada uma das classes que se deseja identificar na imagem. Geralmente, assume-se que as classes podem ser descritas por uma função densidade de probabilidade sendo esta função definida por seus parâmetros estatísticos, acoplada a um critério de decisão sobre a que classe o pixel pertence (CROSTA, 1993; FONSECA, 2000).

Congalton (1992) ressalta a importância da coleta dos dados de referência representando a situação real de campo à época da obtenção da imagem como parte essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. Esses dados permitem verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de refinamento da classificação (MOTTA *et al.*, 2001).

Segundo Crosta (1993), os algoritmos de classificação mais comuns na análise de imagens de sensoriamento remoto são: paralelepípedo, distância mínima, máxima verossimilhança e máxima verossimilhança associado a um método de interação condicional.

Para o método do paralelepípedo, o treinamento é feito com base nos histogramas das amostras das classes procuradas. Os valores mínimos e máximos dos histogramas em cada uma das bandas são identificados e usados para definir os vértices de um paralelepípedo no espaço de atributos. As limitações deste método se baseiam no fato de que pode haver regiões de intersecção entre os paralelepípedos que definem as classes que não poderão ser separados (FONSECA, 2000).

No método de classificação por distância mínima, as amostras de treinamento são usadas para calcular a média de cada classe. Cada pixel será atribuído à classe cuja distância entre o valor do pixel e a média da classe seja menor. O pixel será incorporado ao agrupamento que apresenta a menor distância. Este procedimento ocorre interativamente até que toda a imagem seja classificada (CROSTA, 1993).

O algoritmo da máxima verossimilhança avalia a variância e a covariância das categorias de padrões de resposta espectral quando classifica um *pixel* desconhecido. Para isto, assume-se que a distribuição da nuvem de pontos que forma a categoria dos dados de treinamento é Gaussiana (distribuição normal). Assumida essa suposição, a distribuição de um padrão de resposta espectral da categoria pode ser completamente descrita por um valor de média e a matriz de covariância. Com estes parâmetros é possível calcular a probabilidade estatística de um dado valor de *pixel* pertencente a uma classe particular de cobertura da terra (LILLESAND *et al.*, 2004).

Com a finalidade de analisar de forma integrada todos os dados adquiridos através do geoprocessamento e permitir a interação do usuário, surgiram os primeiros programas computacionais posteriormente chamados de sistemas de informações geográficas (SIG) (FERRAZ, 2002). Os SIG são ferramentas computacionais de geoprocessamento, que permitem a realização de análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e a criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA *et al.*, 2010).

Um SIG processa dados gráficos e não gráficos enfocando análises espaciais e modelagens de superfícies. Associado às representações cartográficas, armazena informações descritivas em um banco de dados. A interface de informações que o SIG apresenta está mostrada na Figura 3.1 (SIMÕES & MOURA, 2010).

O aspecto fundamental dos dados tratados em um ambiente de SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional).

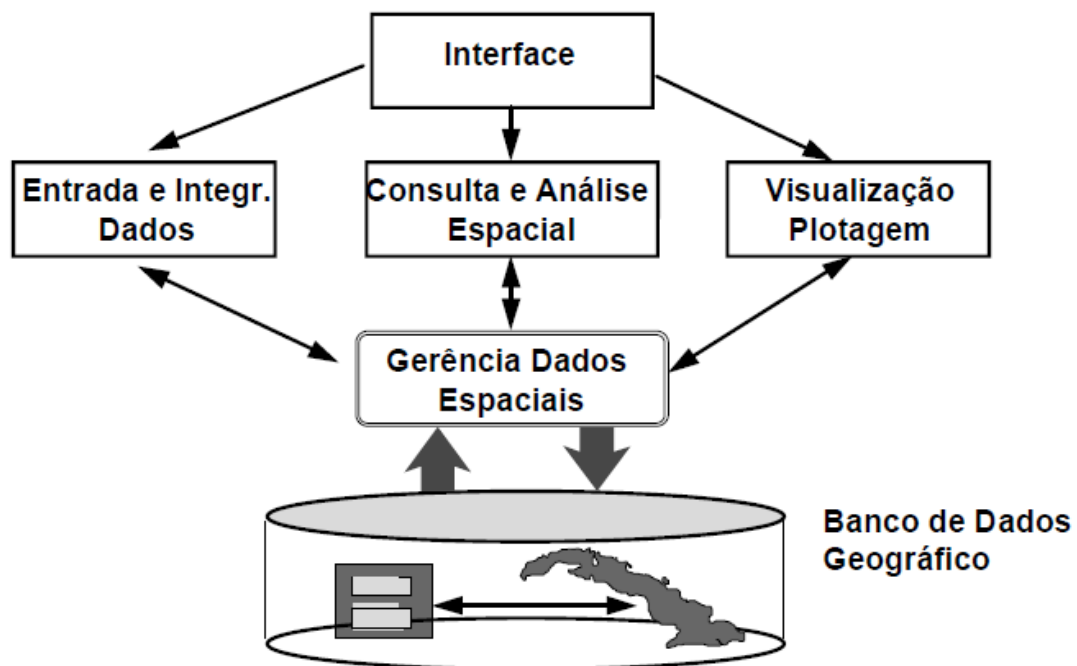


Figura 3.1 – Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica

Fonte: CÂMARA *et al.*, 2010

O desenvolvimento do SIG ocorreu juntamente com a inserção dos microcomputadores no cotidiano da população, a partir da década de 80 e com a pesquisa operacional passou a demandar sistemas computacionais gráficos com interfaces mais amigáveis ao usuário (LINS & FERREIRA FILHO, 1997).

O primeiro Sistema de Informação Geográfica foi implementado no Canadá em 1962 com o objetivo de realizar um levantamento de terras envolvendo aspectos socioeconômicos e ambientais. Em 1964, nos EUA, desenvolveu-se o primeiro SIG para gerenciamento dos recursos naturais no Serviço Florestal dos EUA e o Serviço de Saúde Pública dos EUA sobrepôs diversos dados e automatizou sua Divisão de Fornecimento de Água e Controle da Poluição. A partir de 1966, foram desenvolvidos programas computacionais com aplicação na cartografia (SYMAP-Harvard Lab) e representação de estradas e zonas censitárias (DIME) e desde então investiu-se no aprimoramento dos SIG's e diversos institutos de pesquisa foram criados para isso (LINS & FERREIRA FILHO, 1997).

Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, o SIG possui módulos para a realização de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações. Seu banco de dados permite a associação de atributos e a realização de consultas, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas (MORO, 2005).

3.3. Poluição Difusa

Segundo De Vito (2007), a poluição difusa é advinda de contaminantes espacialmente dispersos na área da bacia tem como características principais a intermitência, a dependência de eventos de precipitação ou escoamento e a dificuldade em pontuar os poluentes. Além da dispersão das fontes em áreas extensas, a complexidade da determinação das emissões difusas também está na interação do das características do solo com o escoamento e por isso a relação entre ocupação e manejo do solo com as fontes não pontuais de poluição serem tão intrínsecas (MANSOR, 2005).

Novotny & Olem (1993) *apud* Mansor (2005) pontuaram o desmatamento e a erosão como os principais problemas de poluição difusa em países tropicais e subtropicais em desenvolvimento.

As cargas difusas podem ser de natureza urbana ou rural. Em áreas urbanas, a grande variabilidade da poluição difusa está relacionado aos níveis de coleta de esgotos e da limpeza pública. As emissões difusas em áreas rurais, estão ligadas aos sedimentos, nutrientes e defensivos agrícolas carregados via escoamento superficial e subsuperficial (MANSOR, 2005).

Haupt (2009) diz que devido a predominância da poluição pontual no Brasil, relegou-se o segundo plano à poluição difusa, sendo escassos os estudos que se aprofundam nesse tema. Em países onde a coleta e o tratamento estão abrangendo a maioria das fontes pontuais de poluição, as cargas difusas tem se destacado como a causadora do comprometimento da qualidade da água. A recuperação natural dos corpos d'água, cessado o aporte de cargas pontuais, a partir da autodepuração pode ser comprometida, caso não se dê atenção às cargas advindas do escoamento superficial e negar a atenção à poluição difusa limita as chances de se elevar os padrões de qualidade da água (HAUPT, 2009).

NOVOTNY, V.; OLEM, H. *Handbook of non-point pollution: sources and management*. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1054 p., 1993.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

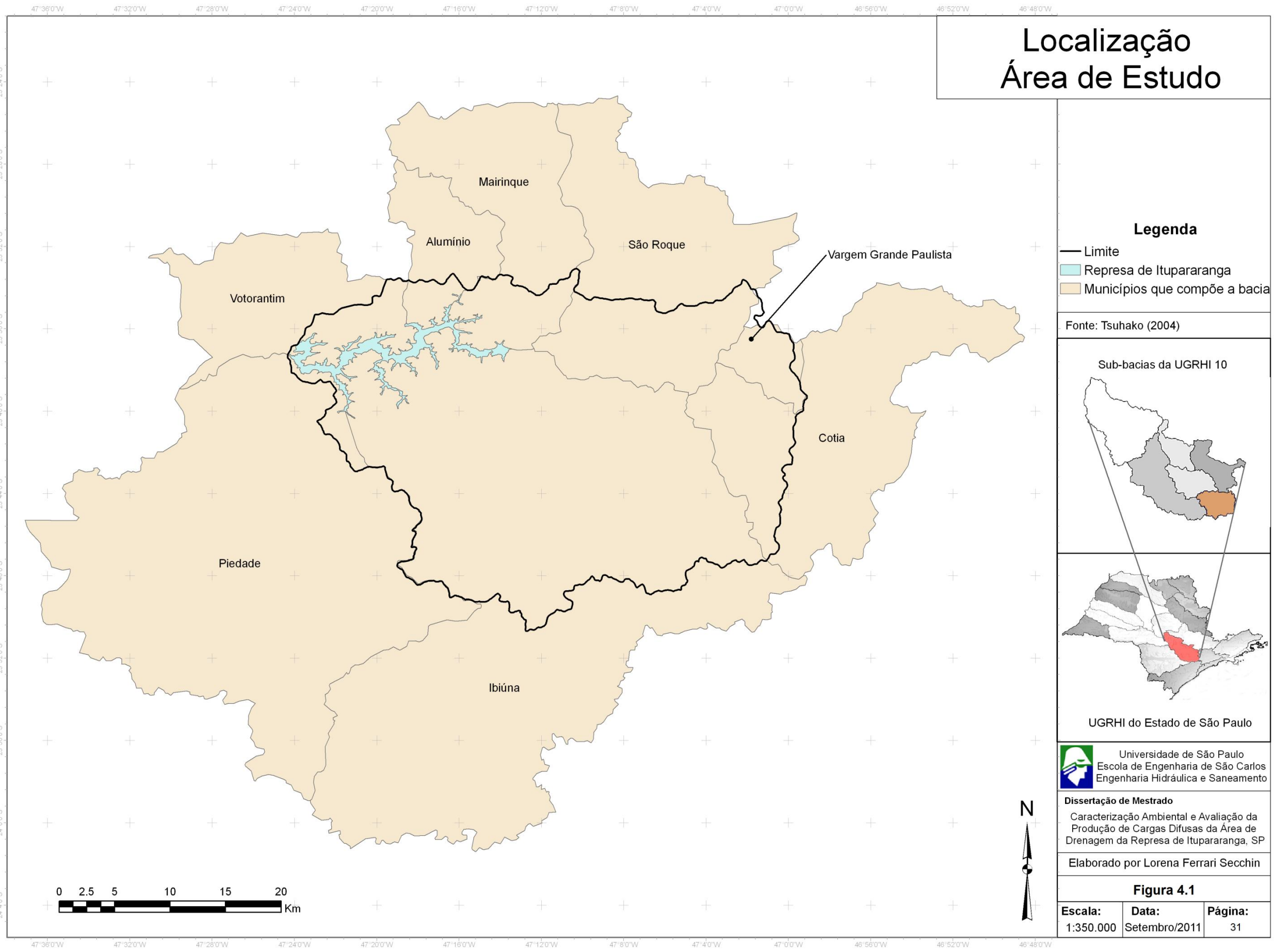
A área de estudo abrange à área de drenagem da represa de Itupararanga que corresponde a sub-bacia do Alto Sorocaba da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) nº 10 (IPT, 2008), totalizando cerca de 936 km² de área e está apresentada pela Figura 4.1.

O reservatório de Itupararanga foi construído pela empresa canadense The São Paulo Tramway Light & Power Co. Ltd, conhecida como Light, para gerar energia elétrica e entrou em operação em 1912. Em 1974 a usina passou a ser administrada pela Companhia Brasileira de Alumínio - CBA, do Grupo Votorantim - sendo que a produção de 150 GWh de energia é exclusivamente utilizada pela empresa. A represa situa-se no alto curso do rio Sorocaba, maior afluente do rio Tietê pela margem esquerda, e situa-se na área conhecida por Médio-Tietê (SÃO PAULO, 2010).

O reservatório, com 20,9 km² de área, 26 km de canal principal e 192 km de margens, volume útil de 286 milhões de m³ de água e profundidade média de 7,8 m é um importante recurso hídrico para a região, tendo seus usos voltados para agricultura irrigada e atividades de recreação (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

De acordo com o Relatório da CETESB (2010), esse manancial tem atingido o nível ótimo de Índice de Qualidade de Água nos meses amostrados. Nas margens do reservatório tem sido observado o aumento de áreas ocupadas por empreendimentos imobiliários, como chácaras e casas de recreio, e também a expansão do uso agropecuário (SÃO PAULO, 2010).

Devido à expressiva pressão por parte da sociedade, em 1º dezembro de 1998, foi promulgada a Lei Estadual 10.100 que estabelecia a criação da Área de Preservação Ambiental no entorno da represa. Em 02 de dezembro 2003, essa lei foi alterada pela Lei Estadual 11.579, onde houve a ampliação dos limites da APA, abrangendo toda a bacia hidrográfica formadora da represa, correspondendo assim à parte dos municípios de Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim (SÃO PAULO, 2003).



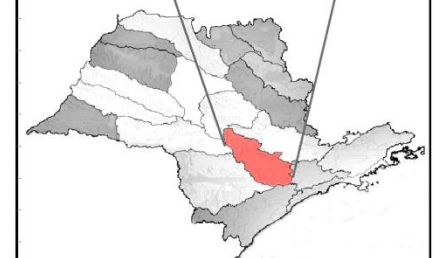
Localização Área de Estudo

Legenda

- Limite
- Represa de Itupararanga
- Municípios que compõe a bacia

Fonte: Tshako (2004)

Sub-bacias da UGRHI 10



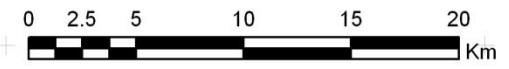
UGRHI do Estado de São Paulo

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Dissertação de Mestrado
Caracterização Ambiental e Avaliação da
Produção de Cargas Difusas da Área de
Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 4.1		
Escala: 1:350.000	Data: Setembro/2011	Página: 31



4.2. Materiais cartográficos e digitais

Os materiais cartográficos digitais que foram utilizados são:

- Divisão Geopolítica: base digital cedida por Tshako (2004), construído através da digitalização das cartas topográficas, em escala 1:50.000, do IBGE, produzido em 1973, folhas de Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapecerica da Serra. Atualizada pela malha digital municipal produzida pelo IBGE em 2001;
- Geológico: base digital cedida por Tshako (2004), compilado e modificado das cartas geológicas: 1:50.000, da folha São Roque produzido pelo Pró-Minério – UNESP Rio Claro, e a carta geológica dos Morros de São Francisco, escala 1:20.000, de Godoy (1989);
- Geomorfológico: base digital cedida por Tshako (2004), construído através de fotogrametria das cartas topográficas, compartimentação altimétrica do mapa hipsométrico, classificação de unidades através do mapa de declividade, padrões de drenagem e o mapa geológico;
- Hidrográfico: base digital cedida por Tshako (2004), digitalizado das folhas Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapecerica da Serra, todos do IBGE, produzidos em 1973 na escala 1:50.000;
- Rodoviário: base digital cedida por Tshako (2004), obtido por digitalização das folhas Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapecerica da Serra, todos do IBGE, produzidos em 1973 na escala 1:50.000;
- Topográfico (ou curvas de nível): base digital cedida por Tshako (2004), obtido através da digitalização da bacia hidrográfica da bacia de Itupararanga, delimitada em cartas topográficas, em escala 1:50.000, do IBGE, produzidos em 1973, folhas Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapecerica da Serra;
- Geotécnico: base digital cedida por Tshako (2004), obtido através da digitalização da carta “Processos do meio físico importantes para a previsão do comportamento geotécnico dos terrenos ante o seu uso”, folha de São Paulo (Nakazawa *et al*, 1994), escala 1:500.000;
- Pedológico: base digital cedida por Tshako (2004), obtido por digitalização do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, folha de Campinas, em escala: 1:500.000.
- Imagem orbital de 31/07/2010, órbita-ponto 331/095, sensor a bordo do Satélite IRS (ResourceSat-1), sensor Liss3, com as seguintes características: resolução espectral sete bits, resolução espacial 23,5 m e faixa de varrimento de 141 km. (INPE, 2010).
- Mapa de Uso e Ocupação do Solo em escala 1:25.000 cedido por Tshako (2004), produzido pela BASE através da interpretação de 180 fotografias aéreas de 1996.

4.3. Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados para a realização do projeto foram:

- Computador Intel® Core™2 Quad CPU Q9505 2.83GHz, 3 GB de RAM, HD 500GB, DVD/CD-ROM, placa de vídeo NVIDIA GeForce 9400 GT;
- Sistema Operacional Microsoft Windows XP, 32 bits;
- GPS Garmin

4.4. Programas (Softwares)

Os seguintes *softwares* de sistema de informação geográfica foram utilizados:

- *Software* Idrisi® Andes, versão 15.00, Abril de 2006, utilizado para a classificação das imagens de satélite e geração do Mapa de Uso e Ocupação;
- *Software* ArcGIS® v.9.3, ESRI (Environmental System Research Institute Incorporation), extensões Spatial Analyst v. 1.1 e 3D Analyst v. 1.0;
- Interface Arc-SWAT® v. 2009

4.5. Metodologia

4.5.1. Classificação da Imagem Orbital

Com a finalidade de produzir um mapa atual de uso e ocupação do solo, foram obtidas imagens do satélite ResourceSat-1 fornecidas pelo catálogo de imagens do INPE e a escolha do satélite baseou-se nos parâmetros da imagem (resolução espacial e temporal), no tamanho da área de estudo e na localização da mesma dentro da cena imageada.

Utilizou-se métodos de pré-processamento digital de imagens, e nesse caso aplicou-se o georreferenciamento por meio de pontos de controle (PCs) em que se comparou a imagem orbital com o mapa rodoviário em escala de 1:50.000 cedido por Tshako (2004).

Optou-se por aplicar a metodologia de classificação supervisionada de máxima verossimilhança através do software IDRISI Andes® que utiliza amostras de treinamento previamente identificadas (CROSTA, 1993). Fonseca (2000) descreve as etapas necessárias para a geração do mapa temático a partir de imagens orbitais, que são elas:

- Seleção das classes de interesse;

Escolha de um conjunto de amostras representativo de cada uma das classes - é importante que a área seja uma amostra homogênea da classe correspondente, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza para a classe;

- Treinamento dos parâmetros usados pelo algoritmo de classificação;
- Estabelecimento da relação das regiões delimitadas com as classes definidas a partir dos parâmetros treinados;
- Geração de mapas temáticos com o resultado da classificação.

Para avaliar a exatidão da classificação torna-se necessário comparar o mapa obtido através da classificação dos dados de sensor com dados de referência e por isso foi realizada uma campanha de campo em que foram coletados 140 pontos com auxílio de GPS (JENSEN, 1996; MOTTA *et al.*, 2001; CONGALTON, 1992). A relação entre estes dois conjuntos de informação geralmente é resumida em uma matriz de confusão ou tabela de contingência (LILLESAND & KIEFFER, 1994; PONZONI & ALMEIDA, 1996).

Segundo Campbell (1987), a forma padronizada para reportar erros em locais específicos é a chamada matriz de erros, também conhecida como matriz de confusão, por identificar não somente o erro global da classificação para cada categoria, mas também de que maneira se deram as confusões entre categorias. Essencial para qualquer estudo sério sobre a exatidão dos processos de classificação, esta matriz é um exemplo específico de uma classe mais genérica de matrizes conhecidas como Tabelas de Contingência.

Através da classificação prévia constatou-se uma confusão entre as classes de solo exposto e área urbana, então optou-se por utilizar a metodologia de Vieira (2000) construindo uma máscara para a classe de área urbana e aplicando posteriormente na imagem classificada. Moro (2005) e Machado (2002) utilizaram essa mesma rotina de classificação de imagens para obtenção do mapa de uso e ocupação do solo.

Para suavizar a apresentação das classes e eliminar ruídos de pixels dispersos, foi aplicado um filtro da moda 3x3. Sobre o mapa resultante do processo de classificação, foram aplicados também avaliadores estatísticos usualmente utilizados, índice de exatidão global (IEG) e índice Kappa, para analisar a veracidade do mapa produzido. Moreira *et al.* (2009) sugerem o índice Kappa como um dos procedimentos mais utilizados para mensurar a exatidão das classificações temáticas por representar inteiramente a matriz de confusão. A Tabela 4.1 mostra o desempenho da classificação de acordo com o valor do índice Kappa (LANDIS & KOCH, 1977; FONSECA, 2000). O mapa classificado foi exportado do IDRISI para o ArcGis para a geração do mapa final.

Tabela 4.1 – Índice do coeficiente Kappa de acordo com o conceito do desempenho da classificação

Índice Kappa	Desempenho da classificação
$k < 0$	Péssimo
$0 < k < 0,2$	Mau
$0,2 < k < 0,4$	Razoável
$0,4 < k < 0,6$	Bom
$0,6 < k < 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k < 1,0$	Excelente

Fonte: Modificado de Moro (2005)

4.5.2. Geração dos Mapas e Parâmetros Morfológicos

O software ArcGis® foi utilizado para manipular a base de dados digital e gerar os mapas: geológico, geomorfológico, hidrográfico, topográfico e pedológico. Para descrever melhor as classes apresentadas, foi consultado o material original com a finalidade de caracterizar a bacia de estudo.

Para a delimitação das classes do mapa Geológico, foram consultados os materiais que serviram de base para a construção do mapa digital (GODOY, 1989) e na falta desses foram consultados artigos que estudassem a área de estudo, em especial o trabalho de Godoy *et al.*, (2010).

Através da base de dados da bacia, obtiveram-se características físicas pelo ArcGis, como: área, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, declividade, altitude, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água. Os parâmetros hidrológicos formados a partir de dados diretos e que necessitam de interpretação são descritos a seguir.

4.5.3. Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_C) relaciona o perímetro da bacia com a circunferência de um círculo de área igual à área da bacia. De acordo com Villela e Mattos (1975), K_C é um número adimensional que revela a suscetibilidade da bacia à inundações. Um coeficiente próximo à unidade corresponde a uma bacia circular com maior probabilidade de ocorrência de enchentes acentuadas enquanto, para uma bacia alongada, seu valor tende a ser superior a 1, e ocorre o contrário em relação às cheias. O K_C foi determinado com base na seguinte equação (Equação 1):

$$K_C = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}, \text{ onde:} \quad (1)$$

P - perímetro (km);

A - área de drenagem (km²).

4.5.4. Fator de Forma

O fator forma (K_f) é outra maneira de indicar a tendência para enchentes de uma bacia. Esse coeficiente relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. O fator forma foi determinado, utilizando-se a seguinte equação (Equação 2):

$$K_f = \frac{A}{L^2}, \text{ onde:} \quad (2)$$

A - área de drenagem (m²);

L - comprimento do eixo da bacia (m).

4.5.5. Índice de Circularidade

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CHRISTOFOLETTI, 1974). Esse coeficiente tem análise análoga ao índice de compacidade quanto à suscetibilidade a enchentes, ou seja, uma bacia com formato mais próximo a um círculo é mais propícia a cheias. Para isso, utilizou-se a seguinte equação (Equação 3):

$$I_c = \frac{12,57 * A}{P^2}, \text{ onde:} \quad (3)$$

A - área de drenagem (m²);

P - perímetro (m).

4.5.6. Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (Dd) indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia, formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica e fornece a eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o comprimento total de todos os canais da rede e a área total da bacia. Villela e Mattos (1975) afirmam que a Dd pode variar de 0,5 km/km² a mais de 3,5 km/km², sendo esse último para bacias excepcionalmente bem drenadas. O índice foi determinado utilizando a Equação 4:

$$Dd = \frac{L_T}{A}, \text{ sendo:} \quad (4)$$

L_T - comprimento total de todos os canais (km);

A - área de drenagem (km²).

4.5.7. Declividade e Altitude

O modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) foi utilizado para a geração do mapa de declividade e da altitude. As classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, sugeridos pela Embrapa (1979), conforme mostrado na Tabela 4.2. Para avaliar a distribuição da declividade também foi utilizado o método das quadrículas associadas a um vetor, considerado por Villela e Mattos (1975) o método mais completo.

Foi traçada também a curva hipsométrica junto com o mapa altimétrico com a representação do relevo da bacia.

Tabela 4.2 – Classes de Declividade

Declividade	Classificação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979)

4.6. Soil And Water Assessment Tool - SWAT

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um programa desenvolvido para prever o impacto das práticas de manejo de uso do solo sobre os recursos hídricos, a produção de sedimentos e a utilização de produtos químicos agrícolas em grandes bacias hidrográficas com diferentes tipos de solo, uso da terra e condições de manejo. O modelo opera geralmente em intervalo de tempo diário, sendo possível a simulação contínua de vários anos (NEITSCH *et al.*, 2010).

O SWAT incorpora características de vários modelos do *Agricultural Research Service* (ARS), sendo o resultado da evolução do modelo SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basins*) (WILLIAMS *et al.*, 1985; ARNOLD *et al.*, 1990). Os principais modelos que contribuíram significativamente para o desenvolvimento do SWAT foram o CREAMS (*Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*) (KNISEL, 1980); GLEAMS (*Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems*) (LEONARD *et al.*, 1987); e o EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) (WILLIAMS *et al.*, 1984).

Neste estudo foi empregado o ArcSWAT para SWAT2009, uma extensão desenvolvida para o software de Sistema de Informação Geográfica ArcGIS® e uma interface gráfica para o modelo SWAT (NEITSCH *et al.*, 2010). A interface foi instalada sobre ArcGIS® 9.3, contendo a extensão Spatial Analyst® 2.0. A modelagem feita pelo SWAT em ambiente de SIG supera as limitações da utilização de modelos hidrológicos na facilidade de manipular os dados e as variáveis de entrada (MACHADO & VETTORAZZI, 2003).

Para proceder a modelagem, o Arc-SWAT® necessita acessar um conjunto de banco de dados que forneça certos tipos de informação sobre a bacia a ser modelada. Pelo SWAT requerer uma grande quantidade de parâmetros de entrada que se relacionam com as

características físicas da bacia, na definição destes parâmetros buscou-se utilizar dados obtidos a partir de trabalhos anteriores, evitando-se o levantamento experimental das informações necessárias demandando uma grande quantidade de tempo. A Figura 4.1 demonstra o processo de funcionamento do SWAT.

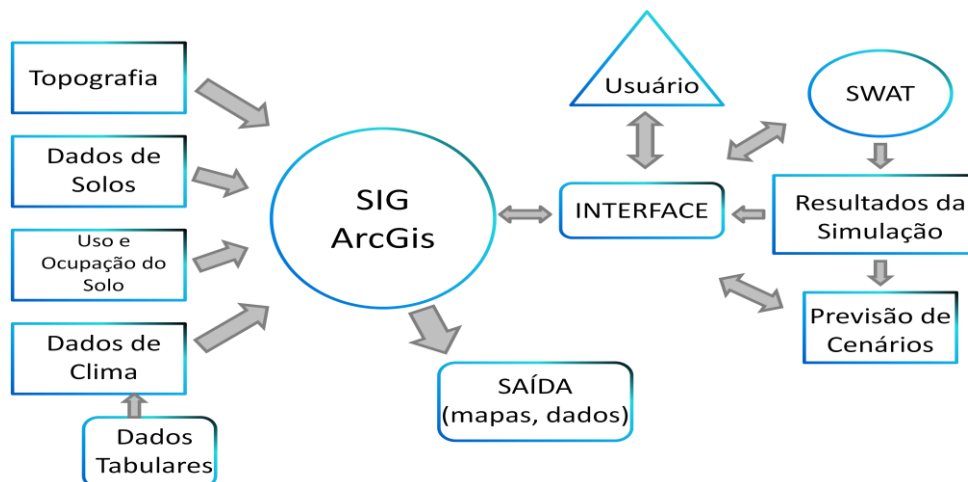


Figura 4.2 – Interação entre SIG e SWAT - Fonte: Machado (2002).

O início da modelagem consiste na inserção do mapa de Uso e Ocupação do Solo obtido pela classificação de imagens de satélite, do Modelo Digital de Elevação e do Mapa pedológico obtidos pela manipulação da base digital cedida por Tsuhako (2004).

4.6.1. Definição do número de sub-bacias

Na etapa de delineamento da área de estudo, é necessário definir o valor da área limite (*threshold*) para a subdivisão da área. Em função da extensão da área escolhida, a discretização considerou a área limite de contribuição de 2320 ha.

O SWAT trabalha com composições únicas de uso do solo/solo/declividade denominadas unidades de resposta hidrológica (HRU's – *hydrologic response units*). O modelo permite que se adote a composição dominante dentro da sub-bacia, gerando uma HRU para cada ou opta-se por discretizar as sub-bacias em múltiplas HRU's, definindo as proporções limites dentro de cada HRU (NEITSCH *et al.*, 2011).

O SWAT possui uma estrutura de comandos para propagar o escoamento, sedimentos e agroquímicos através da bacia. Os maiores componentes do modelo incluem hidrologia, clima, sedimentos, temperatura do solo, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola. O ciclo hidrológico do modelo se divide em: escoamento superficial, percolação, fluxo lateral sub-superficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração. O modelo requer dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar e umidade relativa.

4.6.2. Dados de Entrada

O SWAT requer informações específicas sobre o clima, propriedades dos solos, topografia, vegetação e práticas de manejo que ocorrem na bacia, para que os processos físicos associados com o movimento da água sejam modelados usando estes dados de entrada.

O banco de dados de solo disponível no software refere-se aos solos dos Estados Unidos, por isso foi necessário criar um banco de dados com as características específicas dos solos da bacia. Por não haver um estudo específico de levantamento de solos no local de estudo, foram utilizados dados do trabalho realizado por Oliveira (1999).

Para este trabalho, optou-se por calcular o escoamento através do método do Número da Curva, assim, a conversão da classificação dos solos de acordo com o grupo hidrológico foi feita com base no trabalho de Sartori *et al.* (2005).

O modelo simula o crescimento de plantas e as práticas de manejo a elas associadas e para isso requer um banco de dados que forneça esses parâmetros para a realização dos cálculos da simulação. O SWAT possui um banco de dados com os parâmetros de uso do solo, tipo de solo, pesticidas, fertilizantes e crescimento de culturas. Este banco de dados vem instalado junto com o software e contempla uma gama de coberturas referentes aos usos dos EUA e, para o caso em estudo, foi necessário alterar/adequar a base de dados para as características de uso e manejo específicas.

A quantidade de água disponível e a condutividade hidráulica do solo foram estabelecidas conforme a textura de cada camada de solo segundo as características descritas nas Tabelas 4.3 e 4.4 por alguns valores não constarem no material consultado de Oliveira (1999).

O banco de dados climatológico, contemplando precipitação, temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, foi elaborado a partir de dados horários da Estação Meteorológica Automática de Sorocaba do INMET acessado através do portal do Instituto na internet cuja localização se encontra na Tabela 4.5. O cálculo dos parâmetros estatísticos foi realizado por um gerador climático disponibilizado no site oficial do SWAT (<http://swatmodel.tamu.edu>).

Tabela 4.3 – Capacidade de Água disponível no solo segundo a Classe Textural

Classe Textural	Capacidade de Água disponível (mm/m)
Areia	150
Areia Franca	158
Franco Arenoso	175
Franco	175
Franco Siltoso	192
Franco Argilo Arenoso	150
Franco Argiloso	183
Franco Argilo Siltoso	192
Argila Arenosa	142
Argila Siltosa	183
Argila	175

Fonte: Salter & Williams (1969) *apud* Baldissera (2005) e Lopes (2008).

Tabela 4.4 – Capacidade de Água disponível no solo segundo a Classe Textural

Textura	Condutividade hidráulica saturada (cm/h)
Areia	25 – 50
Areia Franca	12 – 25
Franco Arenoso	6 – 12
Franco Arenoso, Siltoso, Franco Siltoso, Franco Argiloso e Franco	2 – 6
Argila, Argila Siltosa, Argila Arenosa, Franco Argilo Siltoso, Franco Argiloso, Franco Siltoso, Siltoso, Franco Argilo Arenoso	0,5 – 2
Argila, Franco Argiloso, Argila Siltosa, Franco Argilo Arenoso	0,25 – 0,50
Argila	< 0,25

Fonte: Dent & Young (1981) *apud* Baldissera (2005) e Lopes (2008).

Tabela 4.5 – Localização da Estação Metereológica

Estação	XPR	YPR
Sorocaba	235840,93	7406994,84

DENT, D.; YOUNG, A. *Soil survey and land evaluation*. Londres: G. Allen e Unwin, 1981. 278p.

SALTER, P.J.; WILLIAMS, J.B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. V. Relationships between particle size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water. *J. Soil Science*, 20: p.126-131

Dados pluviométricos diários foram obtidos junto à base de dados de 1916-2004 do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), de sete estações (Tabela 4.6) situadas na bacia e de uma estação que a CBA possui na barragem com dados diários de 1914 a 2011.

Tabela 4.6 – Localização das Estações Pluviométricas

Estação	XPR	YPR	Elevação (m)
Ibiúna	273896,37	7382767,33	880
Franco da Rocha	274415,44	7349537,14	660
Mato do Gado	284209,40	7375538,13	950
Carafa	263572,81	7389989,99	900
Caucaia	294354,92	7379378,02	936
Piedade	253644,67	7373204,74	840
Mairinque	277131,90	7393896,11	-
CBA	255769,26	7386759,60	845

4.6.3. Componentes do SWAT

Independente do problema em foco, o balanço hídrico é o fator principal por trás de tudo o que ocorre numa bacia hidrográfica, ou seja, para se prever a dinâmica de pesticidas ou o transporte de sedimentos, o ciclo hidrológico deve refletir a realidade da área de estudo (NEITSCH *et al.*, 2010).

O ciclo hidrológico no modelo se baseia na equação do balanço hídrico apresentada pela Equação 5.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (5)$$

Onde: SW_t é a quantidade final de água no solo (mm), SW_0 é a quantidade inicial de água no solo (mm), w_{seep} é percolação (mm), R_{day} corresponde à precipitação do dia “i” (mm), Q_{surf} é o escoamento superficial (mm); E_a é a evapotranspiração no dia “i” (mm), t é o tempo, em dias e Q_{gw} é o escoamento de retorno, no dia “i” (mm).

O escoamento superficial pode ser calculado através do método de Green & Ampt ou pelo método do Soil Conservation Service conhecido como método do Número da Curva. Como foram utilizados dados diários de precipitação, optou-se por aplicar o segundo método que segue a equação 6 (SCS, 1972).

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (6)$$

Onde: Q_{surf} corresponde ao escoamento superficial acumulado ou precipitação efetiva, I_a são as abstrações iniciais no dia (mm), S é o parâmetro de retenção no dia, (mm) e R_{day} é a precipitação diária, (mm).

O parâmetro de retenção varia espacialmente de acordo com tipo de solo, uso e manejo do solo, declividade e varia temporalmente com as condições climáticas e é definido pela equação 7. Para as abstrações iniciais, geralmente o adota-se o valor de 20% do parâmetro de retenção.

$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (7)$$

Onde CN é o número da curva que varia de 0 a 100, onde 0 corresponde a completa permeabilidade e 100 a de total impermeabilidade. O CN varia de acordo com condições antecedentes de umidade, podendo ser: (I) ponto de murcha, (II) situação de umidade média e (III) situação de solo saturado. Geralmente os valores de CN referem-se a condição II.

Tempo de concentração corresponde ao tempo, em horas, necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial dado um determinado evento. O tempo de concentração (t_{conc}) é dado pela soma do tempo que o escoamento superficial leva para alcançar o canal principal (t_{ov}) com o tempo de escoamento do canal principal (t_{ch}) até a saída da bacia.

Em bacias de maior extensão com tempo de concentração maior que 1 dia, somente parte do escoamento superficial atingirá o canal principal no dia quem que foi gerado. Para atender a essa necessidade, o SWAT incorpora um atraso no escoamento superficial, dado pela equação 8.

$$Q_{surf} = (Q'_{surf} + Q_{stor,i-1}) * \left[1 - \exp\left(\frac{-surlag}{t_{conc}}\right) \right] \quad (8)$$

Onde: Q_{surf} é o escoamento superficial no dia (mm), Q'_{surf} é a parte do escoamento gerado no dia que chega ao canal principal (mm), $Q_{stor,i-1}$ é o escoamento superficial de um dia anterior (mm), $surlag$ é o coeficiente de atraso do escoamento e t_{conc} é o tempo de concentração da bacia (h).

A maior taxa de escoamento superficial é dada pela vazão de pico calculada através do método racional modificado, definido pela equação 9.

$$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} * Q_{surf} * A}{3.6 * t_{conc}} \quad (9)$$

Onde: Q_{surf} é o escoamento superficial no dia (mm), α_{tc} é a fração da precipitação diária que ocorre durante o tempo de concentração, A é a área da bacia (km²) e t_{conc} é o tempo de concentração da bacia (h).

O modelo SWAT traz três métodos de cálculo da Evapotranspiração Potencial: Penman-Monteith (Monteith, 1965; Allen, 1986; Allen et. al., 1989), Priestley-Taylor (Priestley e Taylor, 1972) e o método de Hargreaves (Hargreaves et. al., 1985).

O método de Penman-Monteith requer dados de radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento e dentre os modelos que o SWAT possui, foi o escolhido para o cálculo da evapotranspiração potencial segue a equação (10).

$$\lambda E = \frac{\Delta * (H_{net} - G) + \frac{\rho_{air} * c_p * (e_z^0 - e_z)}{r_a}}{\Delta + \gamma * \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (10)$$

Onde λE é a densidade do fluxo de calor latente (MJ.m⁻².d⁻¹), E é a taxa de evaporação profunda (mm.d⁻¹), Δ é a rampa da curva pressão-temperatura do vapor de saturação, de/dT (kPa.°C⁻¹), H_{net} é a radiação líquida (MJ.m⁻².d⁻¹), G é a densidade do fluxo de calor à superfície (MJ.m⁻².d⁻¹), ρ_{air} é a densidade do ar (kg.m⁻³), c_p é o calor específico à pressão constante (MJ.kg⁻¹.°C⁻¹), e_z^0 é a pressão do vapor de saturação do ar à altura z (kPa), e_z é a pressão do vapor de água do ar à altura z (kPa), γ é a constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹), r_c é a resistência do dossel vegetativo (s.m⁻¹), e r_a é a resistência de difusão da camada de ar (s.m⁻¹).

A percolação é calculada para cada camada de solo e somente ocorre quando se exceder capacidade de água da camada superior e a camada abaixo ainda não estiver saturada. Quando esta condição é satisfeita, a quantidade de água que percola segue a equação (Equação 11).

$$w_{perc,ly} = SW_{ly,excess} * \left[1 - \exp\left(\frac{-\Delta t}{TT_{perc}}\right)\right] \quad (11)$$

Onde $w_{perc,ly}$ é a quantidade de água que percola para a próxima camada (mm), $SW_{ly,excess}$ é o volume passível de ser drenado (mm), Δt é o intervalo de tempo (horas) e TT_{perc} é o tempo de propagação na camada do solo (horas).

O tempo de propagação varia de acordo com a camada de solo e é dado pela equação (Equação 12).

$$TT_{perc} = \frac{SAT_{ly} + FC_{ly}}{K_{sat}} \quad (12)$$

Onde SAT_{ly} é a capacidade de campo da camada de solo inferior àquela em questão, FC_{ly} é a capacidade de campo da camada de solo em questão, (mm) e K_{sat} é a condutividade hidráulica em $mm.h^{-1}$.

O SWAT considera também a ocorrência do escoamento lateral, que corresponde à água que percola verticalmente encontra uma camada impermeável e se acumula, formando uma zona saturada, que é a origem do escoamento definido pela equação 12.

$$Q_{lat} = 0,024 * \left(\frac{2 * SW_{ly,excess} * K_{sat} * slp}{\Phi_d * L_{hill}} \right) \quad (12)$$

Onde Q_{lat} é a quantidade de água que escoia sub-superficialmente (mm), $SW_{ly,excess}$ é o volume passível de ser drenado na camada de solo (mm), K_{sat} é a condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$), slp é a declividade media da sub-bacia ($m.m^{-1}$), Φ_d é a porosidade da camada de solo ($mm.mm^{-1}$) e L_{hill} e o comprimento do declive (m).

Para o escoamento subterrâneo, o SWAT possui duas divisões de aquíferos, sendo um livre, superficial e não confinado e outro aquífero profundo e confinado. A água que vai para o aquífero profundo é considerada perdida para o balanço hídrico daquela bacia. O escoamento de base vai para o canal principal se a quantidade de água armazenada no aquífero exceder o valor especificado pelo usuário. O balanço hídrico para o escoamento subterrâneo segue a equação (13).

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (13)$$

Onde $aq_{sh,i}$ é a quantidade de água no aquífero superficial no dia "i", (mm), $aq_{sh,i-1}$ é a quantidade de água no aquífero raso no dia anterior, (mm), Q_{gw} é o escoamento subterrâneo, w_{revap} é a quantidade de água que evapora e $w_{pump,sh}$ é a quantidade de água que é bombeada do aquífero.

O escoamento subterrâneo é calculado através da fórmula 14.

$$Q_{gw} = \frac{8000 * K_{sat}}{L_{gw}^2} * h_{wtbl} \quad (14)$$

Onde K_{sat} corresponde à condutividade hidráulica do aquífero ($mm.dia^{-1}$), L_{gw} é a distância ao divisor da bacia (m) e h_{wtbl} é a profundidade do lençol freático (m).

A recarga do aquífero raso ocorre de acordo com a seguinte equação (15):

$$w_{rchrg,sh} = w_{rchrg} - w_{deep} \quad (15)$$

Onde w_{rchrg} é a quantidade de água advinda da percolação (mm) e w_{deep} é a água que vai para o aquífero profundo (mm), sendo essa recarga definida pela equação 16.

$$w_{deep} = \beta_{deep} * w_{rchrg} \quad (16)$$

Onde β_{deep} é o coeficiente de percolação do aquífero raso para o profundo.

No SWAT, os reservatórios estão localizados no canal principal e recebem toda a contribuição da bacia. A equação 17 mostra como é calculado o balanço hídrico para reservatórios.

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \quad (17)$$

Onde V é o volume do reservatório no final do dia (m^3), V_{stored} é o volume de água armazenado no reservatório no início do dia (m^3), V_{flowin} é o volume de água afluente no reservatório durante o dia (m^3), $V_{flowout}$ é o volume de água que sai do reservatório durante o dia (m^3), V_{pcp} é o volume de chuva que cai no reservatório durante o dia (m^3), V_{evap} é o volume removido do reservatório pela evaporação durante o dia (m^3), e V_{seep} é o volume perdido por condutividade hidráulica durante o dia (m^3).

4.6.4. Calibração do modelo

Para realizar a calibração de modelos, é necessário separar a série temporal de dados medidos em dois períodos, sendo um para calibração e o outro para validação do modelo. Na etapa de calibração, as variáveis de entrada do modelo são modificadas até que um ajuste aceitável seja obtido. O modelo é então rodado com esses mesmos parâmetros de entrada para o período de validação e um ajuste é determinado (Arnold *et al*, 1998). Os resultados da verificação da validação do modelo indicam se o modelo é capaz de reproduzir a série de dados não usados em sua calibração.

A calibração do modelo SWAT pode ser feita para: balanço de água e escoamento; sedimentos; nutrientes; e pesticidas, Para realizar essa etapa, foi utilizada uma série história de dados de vazão obtida junto a CBA com dados desde 1914, sendo as demais variáveis, simuladas a partir dessa calibração e validação.

Antes de realizar a etapa de calibração, é feita a análise de sensibilidade dos parâmetros que interferem na variável que se deseja calibrar. A essa análise de sensibilidade 'rankeia' a influência do parâmetro sobre a variável. A seguir apresenta-se o significado dos parâmetros incluídos na análise de sensibilidade:

- ALPHA_BF – constante de recessão do fluxo de retorno do escoamento de base;
- CANMX – armazenamento máximo no dossel (mm);
- CN2 – curva número inicial para a condição de mistura II;
- ESCO – fator de compensação de evaporação do solo;
- GWQMN – profundidade limite de água no aquífero raso requerida para o escoamento de retorno ocorrer (mm);

- GW_DELAY - tempo de percurso da água, entre o perfil do solo e o aquífero raso, (dias);
- GW_REVAP – coeficiente que controla a taxa de transferência de água do aquífero raso para a zona de raízes;
- LAT_TTIME – tempo do escoamento lateral (dias).
- RCHRG_DP – fração de percolação da zona de raízes que recarrega o aquífero profundo;
- REVAPMN – profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer revap (mm);
- SLSLOPE – comprimento de rampa;
- SLSUBBASIN – comprimento de rampa médio para a sub-bacia, adotado como sendo o mesmo valor utilizado para o comprimento de rampa do escoamento lateral (m);
- SOL_AWC – capacidade de água disponível na camada de solo (mm);
- SOL_K – condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1});
- SURLAG – coeficiente de atraso do escoamento superficial.

4.7. Análises Estatísticas

Pra avaliar o desempenho do modelo, os dados mensais de escoamento simulado pelo programa foram comparados com os dados observados na área de estudo no período de 2005 a 2011.

A análise estatística da calibração e validação do modelo foi feita através do Coeficiente de Eficiência (CNS) de Nash-Sutcliffe (1970), definido pela equação 18, e através da Tendência Percentual (PBIAS) definida pela equação 19.

De acordo com Moriasi *et al.* (2007), o coeficiente de Nash-Sutcliffe (CNS), pode variar a partir de negativo infinito a 1, sendo 1, indicativo de ajuste perfeito. A Tendência Percentual quantifica o desvio entre os dados simulados e observados. Valores positivos para o PBIAS indica que a simulação tende a subestimar os valores, enquanto valores negativos indicam que o modelo superestima os valores da variável em estudo (MORIASI *et al.*, 2007).

$$CNS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O - S)^2}{\sum_{i=1}^n (O - \bar{O})^2} \quad (18)$$

$$PBIAS (\%) = \frac{\sum (O - S)}{\sum O} * 100 \quad (19)$$

Sendo: O – evento observado, S – evento simulado, \bar{O} – média de eventos observados durante a simulação, \bar{S} – média de eventos simulados e n – número de eventos.

4.8. Simulação de Cenários

Dos diversos cenários possíveis de serem simulados, optou-se por aqueles que correspondessem com realidades futuras plausíveis para a área de estudo. Para isso, foram construídos 2 cenários: (1) Conservacionista - simular a implementação de práticas conservacionistas; (2) Expansão desordenada - simular a expansão urbana desordenada aliada à supressão da vegetação e expansão da área urbana com base no mapa de Uso e Ocupação do Solo produzido.

Com o intuito de diagnosticar a expansão dos tipos de uso e de ocupação do solo e seu impacto sobre as variáveis do SWAT em estudo, foi feita a comparação entre as cartas de uso e ocupação atual e o de Tsuhako (2004) e traçada a expansão da área urbana e das áreas de cultura em supressão à vegetação.

Na construção das imagens para o cenário Conservacionista, foram atendidas as determinações do Código Florestal Brasileiro, Lei Federal 4.771/65, que determina as faixas de preservação no entorno de rios e nascentes e em terrenos com declividade maior que 45%. Para executar as alterações no mapa de uso e ocupação do solo, foram utilizadas ferramentas de operação usuais do ArcGIS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Levantamento Socioeconômico dos Municípios

A Tabela 5.1 lista os municípios que compõe a bacia de estudo com a porcentagem de área da bacia ocupada para cada município e a porcentagem de sua área que faz parte da bacia.

Tabela 5.1 – População e Ocupação do Território da Bacia de Itupararanga

Municípios	Área Municipal (km ²)	% do Município na Bacia	População 2010 (hab)
Alumínio	83,81	20,83	16.839
Cotia	323,10	22,89	201.150
Ibiúna	1.057,54	55,68	71.217
Mairinque	209,64	24,66	43.223
Piedade	746,87	2,08	52.143
São Roque	306,34	37,96	78.821
Vargem Grande Paulista	42,08	62,58	42.997
Votorantim	183,65	25,25	108.809

Fonte: Fundação Florestal (2009) e IBGE (2010).

De acordo com a sinopse do Censo 2010 do IBGE, Alumínio possui 16.839 habitantes em uma área 83,81 km². Segundo a Prefeitura Municipal de Alumínio (PMA, 2011), o município possui infra-estrutura de rede elétrica, esgoto e água que atende 95% dos domicílios e 90% da coleta de lixo da área urbana. A concentração da população e a origem do município são atribuídas à instalação da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. Sua formação administrativa iniciou-se em 1942 como de distrito policial. Em 1980, foi transformado em distrito do município de Mairinque, sendo emancipado em 1991 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

Cotia possui população de 201.150 habitantes com 323,10 km² de área (IBGE, 2010). O município surgiu como uma pequena povoação chamada Acútia, na beira da estrada de mesmo nome, que ligava São Paulo a Sorocaba. Em 1856, quando passou a vila, recebeu a denominação atual (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

Ibiúna possui 71.217 habitantes e é o município com maior ocupação da área da Bacia (quase 63%). Segundo a Fundação Florestal (2009), sua principal atividade econômica consolidou-se no cultivo de hortifrutigranjeiros, e parte do cinturão verde de abastecimento da grande São Paulo.

Mairinque, com atualmente 43.223 habitantes, deve sua existência à Estrada de Ferro Sorocabana até o início da imigração japonesa, que deu grande impulso à agricultura local. Em 1959 conquistou autonomia municipal.

Piedade é o município que ocupa a menor porção da bacia com distribuição econômica baseada na agricultura (PMM, 2011) e possui 52.143 habitantes. Entretanto, segundo a Fundação Florestal (2009), não há contribuição do município no número de habitantes da bacia em estudo.

De acordo com a revisão do Plano Diretor do Município (PMSR, 2005), São Roque, com 78.821 habitantes, vem abandonando a produção de vinho, que já foi a atividade principal, e concentrando-se, ainda na área rural, nas poucas unidades com produção agrícola, a culturas especiais de alto valor agregado, que atendem um mercado consumidor mais sofisticado - como as culturas hidropônicas e sem agrotóxicos.

No que diz respeito aos aspectos econômicos do município de Vargem Grande Paulista, a produção agrícola tem destaque, verificado por várias propriedades rurais, inserindo o município no “cinturão verde”, que abastece a cidade de São Paulo. Os principais produtos deste setor são: flores, hortaliças, legumes, milho e plantas ornamentais. O serviço de abastecimento de água, através da Sabesp, serve cerca de 75% do Município, a de captação de esgotos, chega a 40% – porém sem tratamento, e a coleta de lixo é realizada em 100% (PMVGP, 2011).

Votorantim, com população de 108.809 habitantes foi fundado na segunda metade do século XVII, um pequeno povoado que começou a se formar ao redor de capela dedicada a N. Sra. do Pópulo. Após sua emancipação, em 1964, passou a se desenvolver de forma mais expressiva, atraindo várias indústrias e aumentando sua população (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009; PMV, 2011).

De acordo com Pedrazzi (2009), os municípios de Ibiúna, Vargem Grande Paulista e Cotia não possuem tratamento total de esgotos. O município de Vargem Grande Paulista não possui tratamento de esgotos e despeja diariamente todo seu esgoto *in natura* no córrego Vargem Grande Paulista, que deságua no rio Sorocamirim, um dos formadores do reservatório.

5.2. Mapas Fisiográficos e Parâmetros Morfológicos

5.2.1. Parâmetros Morfológicos

A bacia formadora da Represa de Itupararanga possui área de drenagem de 936,54 km² e perímetro de 163,33 km. O comprimento do rio principal é de 78,08 km e a bacia possui 2.366,14 km de rede de drenagem. A densidade de drenagem é de 2,53 km.km⁻² que, segundo Villela & Mattos (1975), significa que a bacia é bem drenada. A Figura 5.1 expõe a rede hidrográfica cedida por Tsuhako (2004).

Os valores do fator forma (K_f), de 0,15; do índice de circularidade de 0,44 e do coeficiente de compacidade (K_c) de 1,49 indicam que a forma da bacia não se aproxima de um círculo, revelando a baixa possibilidade de ocorrência de enchentes, confirmando a avaliação do resultado para densidade de drenagem.

A Tabela 5.2 contém os resultados obtidos para as características morfométricas da área de estudo.

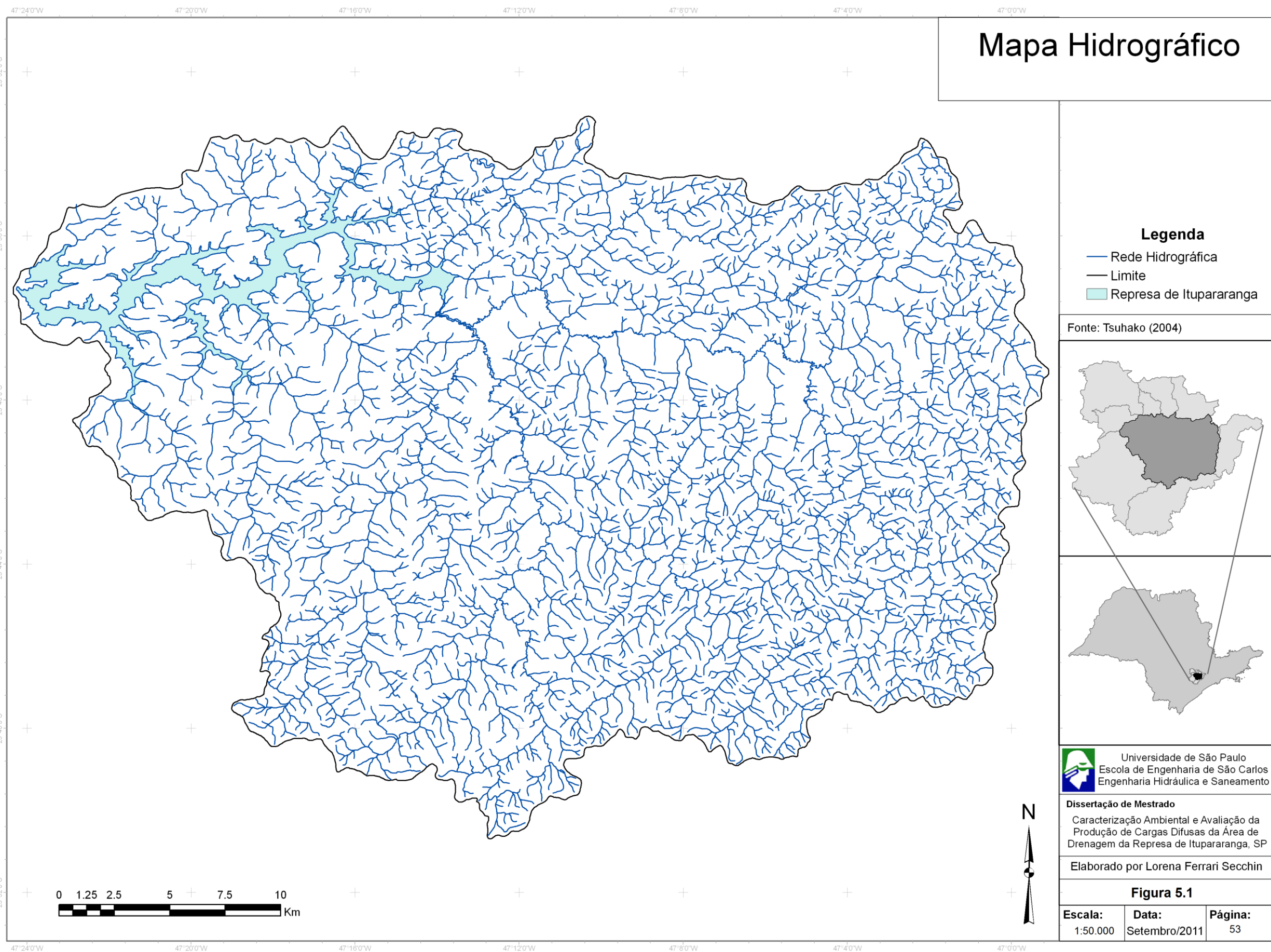
Tabela 5.2 – Características morfométricas da área de drenagem da Represa de Itupararanga

Parâmetros Morfológicos	Resultados
Área	936,54 km ²
Perímetro	163,32 km
Coeficiente de Compacidade (k_c)	1,49
Fator Forma	0,15
Índice de Circularidade	0,44
Densidade de Drenagem	2,53 km.km ⁻²
Comprimento do Rio principal	78,08 km
Rede de Drenagem	2,366,14 km

É importante ressaltar que a avaliação desses resultados deve ser feita em conjunto para se diagnosticar a realidade hidrológica da bacia.

5.2.2. Mapa de Uso e Ocupação do Solo

No programa Idrisi, foi feita a composição de falsa cor da imagem de satélite (Figura 5.2) para que as amostras de treinamento fossem identificadas. Para manipulação das classes e produção do layout final, a imagem classificada foi exportada para o software ArcMap® e o mapa final produzido pode ser observado na Figura 5.3. A porcentagem de ocupação de cada classe está exposta na Tabela 5.3.



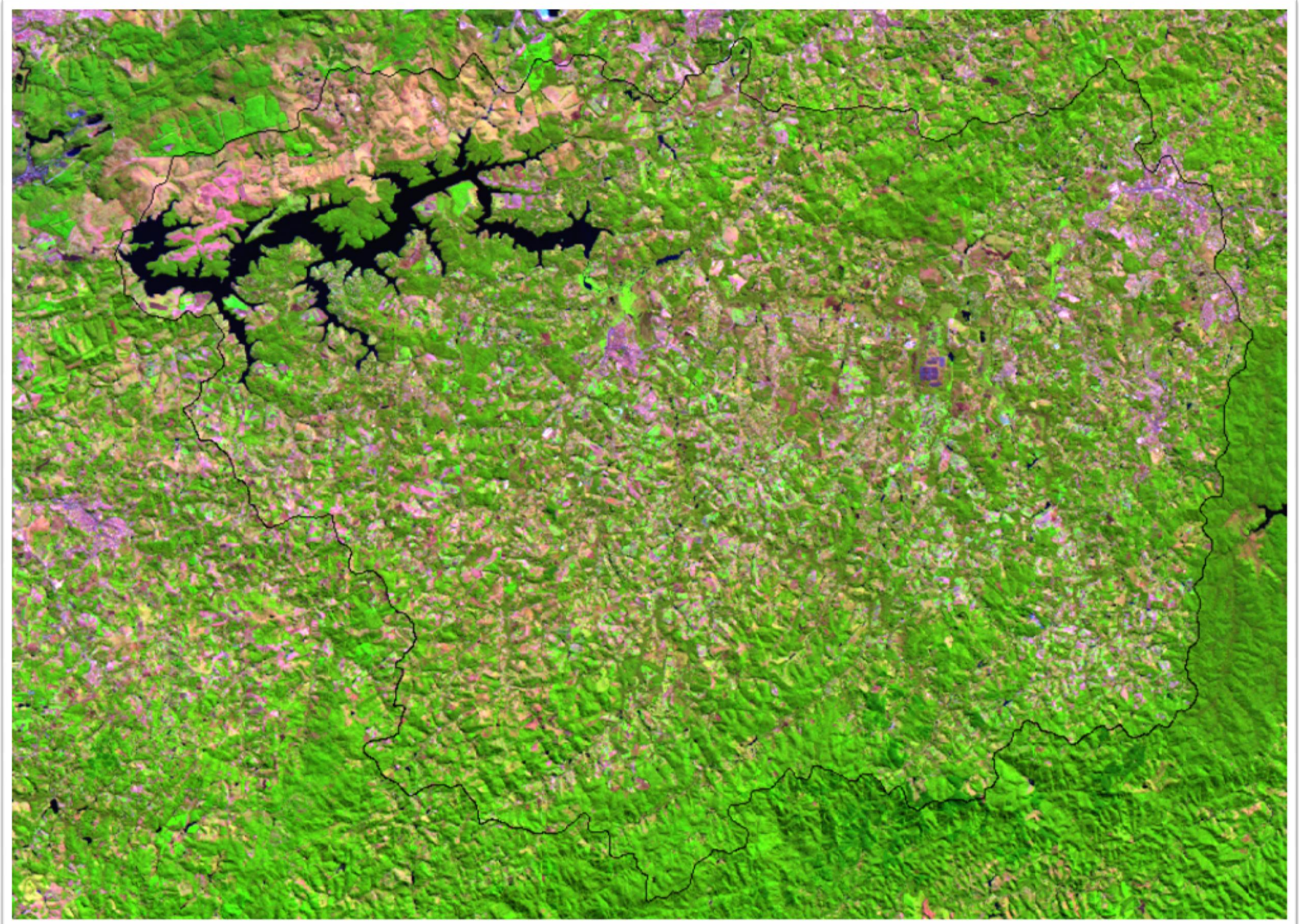


Figura 5.2 – Composição Colorida RGB-543

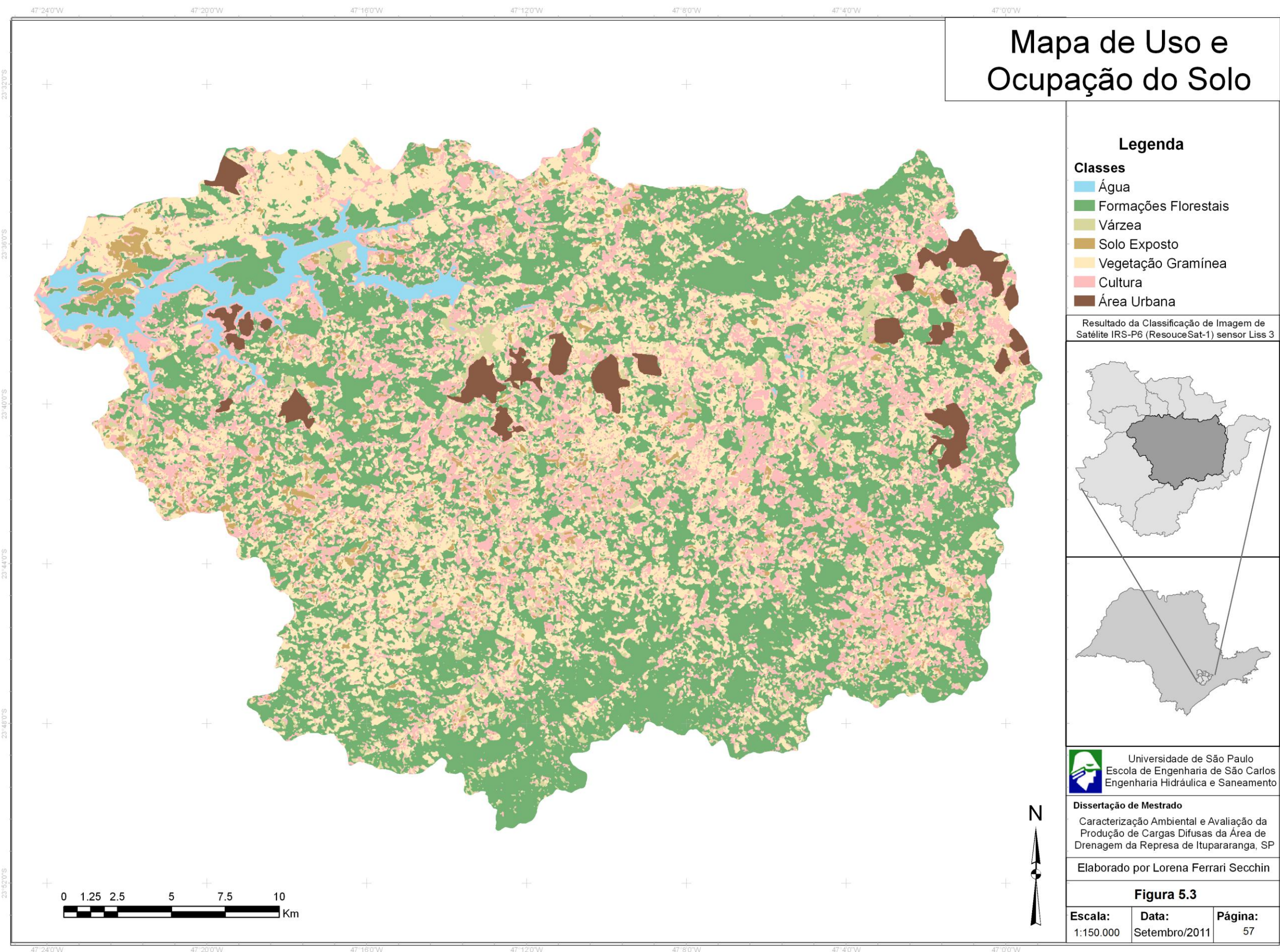


Tabela 5.3 – Área relativa das Classes de Uso e Ocupação do Solo

Classes de Uso e Ocupação	Área (km ²)	Área Relativa (%)
Água	22,31	2,38
Formações Florestais	393,61	42,03
Várzea	43,32	4,63
Solo Exposto	28,56	3,05
Vegetação Gramínea	263,18	28,10
Cultura	158,75	16,95
Área Urbana	26,81	2,86
TOTAL	936,54	100

O mapa resultante da classificação possui índice *Kappa* de 0,64 e IEG de 70,9%, valores considerados muito bons, porém menores do que os obtidos com a coleta de amostras de treinamento sem a visita a campo, entretanto optou-se por utilizar a imagem que foi validada pela coleta de pontos na área de estudo por refletir a realidade em campo.

A partir desse mapa pode-se perceber o predomínio da classe de Formações Florestais que são compostas de Mata Nativa e Florestas Plantadas conforme as percepções em campo.

Nas campanhas de campo, identificou-se o predomínio de culturas de hortaliças. Esse tipo de cultura não apresenta safras sazonais e seus terrenos possuem uma grande rotatividade entre colheita e plantio, portanto algumas áreas identificadas como solo exposto ou vegetação gramínea são, na realidade, estágios diversos de áreas de cultura.

A confusão da classificação das áreas urbana com a classe de solo exposto foi minimizada pela aplicação da máscara para classe de área urbana. Em campo perceberam-se poucos locais com solo exposto sem função e foram identificadas áreas aradas para plantio que foram classificadas como pertencentes a esta classe. A máscara da classe de área urbana baseou-se no mapa produzido pela Fundação Florestal e na interpretação visual da composição colorida da imagem de satélite. O rio formador da represa, o rio Sorocaba, nasce da junção dos rios Sorocamirim e Sorocabuçu; nas áreas de drenagem destes dois rios se concentram os maiores problemas ambientais.

5.2.3. Geologia

Na área de estudo estão presentes seis grandes grupos geológicos (Figura 5.4 e Tabela 5.4), estando também presentes seis zonas de cisalhamento, abrangendo períodos de formação desde o Proterozóico Médio-Superior até o Quaternário, (Fundação Florestal, 2009).

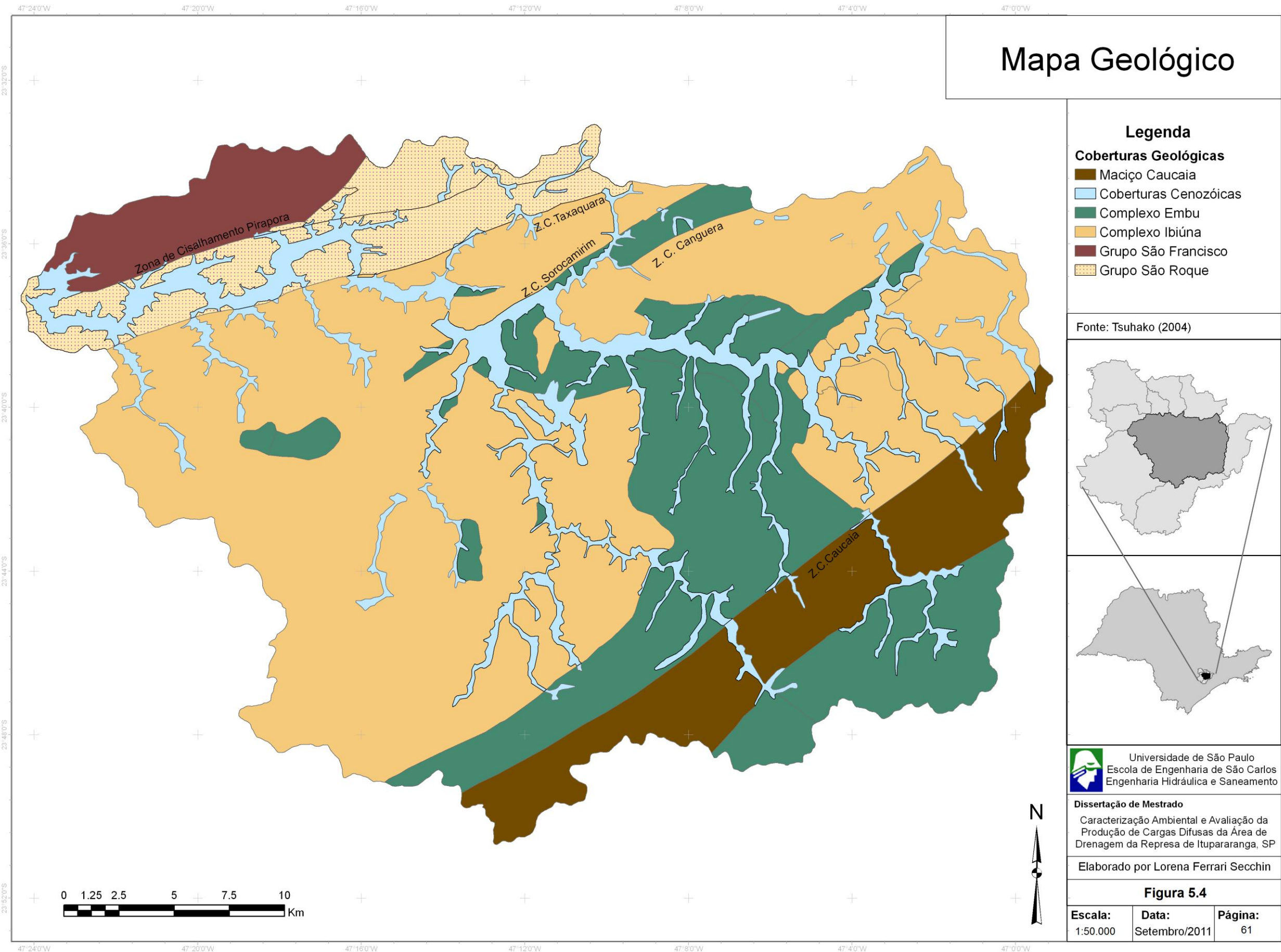


Tabela 5.4 – Divisões Geológicas, área de ocorrência e área relativa na bacia

Divisões Geológicas	Área (km ²)	Área Relativa (%)
Maciço Caucaia	86,58	9,24
Coberturas Cenozóicas	99,65	10,64
Complexo Embu	195,50	20,87
Complexo Ibiúna	454,62	48,54
Complexo São Francisco	40,20	4,29
Grupo São Roque	59,99	6,41
TOTAL	936,54	100

Do período Neoproterozóico, tem-se o Grupo São Roque, com 6,41 % da área de estudo, constituído por metassedimentos e metabásicas, e o Complexo Embu, ocupando cerca de 21 % da área, composto por gnaises. Estão associados a diversos corpos graníticos, como os granitos São Francisco e São Roque, pertencentes ao Domínio São Roque, e os granitos Ibiúna, Caucaia e Pilar do Sul, inseridos no Domínio Embu (IPT, 1981).

A estrutura tectônica mais significativa na área de ocorrência do cristalino é a Zonas de Cisalhamento de Taxaquara na direção NEE. Outras estruturas menores estão presentes na área, como a zona de cisalhamento de Caucaia (Fundação Florestal, 2009).

O Grupo São Roque ocupa cerca de 50% do embasamento cristalino e é composto por rochas de baixo grau metamórfico (fácies xisto verde), por metassedimentos diversos, incluindo metapelitos, filitos, quartzo filitos e filitos grafitosos em sucessão rítmica, com lentes de quartzito, metassiltitos, metaconglomerados e metarcóseos, e, mais raramente, de metacalcários, metagrauvas, metadolomitos e de rochas cálcio-silicáticas (IPT, 2005).

O Complexo São Francisco delimita-se a sul pela falha de Pirapora, compreende rochas monzo a sienograníticas, por vezes com textura rapakivi, coloração acinzentada, granulação grossa, inequigranular, com mineralizações de fluorita e de metálicos junto às encaixantes (PIRES *et al.*, 1990 *apud* IPT, 2005).

O Complexo Ibiúna, ocupando quase 50 % da área de estudo é constituído por monzogranitos e sienogranitos e o Maciço Caucaia, com 9,24 %, é composto por sienomonzogranitos inequigranulares róseos (GODOY *et. al*, 2010).

As Coberturas Cenozóicas (10,64 % da área) são compostas por sedimentos recentes constituídos principalmente por areias e argilas junto à rede de drenagem dos principais corpos d'água (GODOY, 1989).

Ao sul da Zona de Cisalhamento Taxaquara encontram-se distribuídos os metassedimentos e ortognaisses do Complexo Embu, pertencente ao Domínio Embu.

PIRES, F. A. *et al.* Mapeamento geológico da folha de Salto de Pirapora (SP), na escala 1:50.000. São Paulo: Instituto Geológico - SMA, 1990. 76 p. (Relatório Interno).

Trata-se de um conjunto caracterizado por metassedimentos pelíticos e psamíticos, constituídos por sillimanita-granada gnaisses, migmatitos, xistos e quartzitos, além de localmente anfibolitos (Oliveira *et al.*, 1998).

5.2.4. Geomorfologia

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997), a bacia hidrográfica formadora da Represa de Itupararanga abrange a unidade morfológica denominada de Planalto Ibiúna/São Roque onde predominam morros aguçados (Da) e topos convexos (Dc).

Segundo a Fundação Florestal (2009), a área em estudo abrange as seguintes classes geomorfológicas: Mares de Morros, Morros com Serras Restritas, Morros Paralelos, Planícies Aluviais, Morros de Topos Achatados, Mesas Basálticas e Escarpas Festonadas.

De acordo com Tshako (2004), o Mapa Geomorfológico (Figura 5.5) apresenta formas decomposicionais e agradacionais (acumulação) de relevo e que tem como metodologia de classificação o trabalho desenvolvido por Ross (2001). As classes apresentadas chegam ao 3º Táxon – o dos padrões de Formas Semelhantes - e estão descritas na Tabela 5.5.

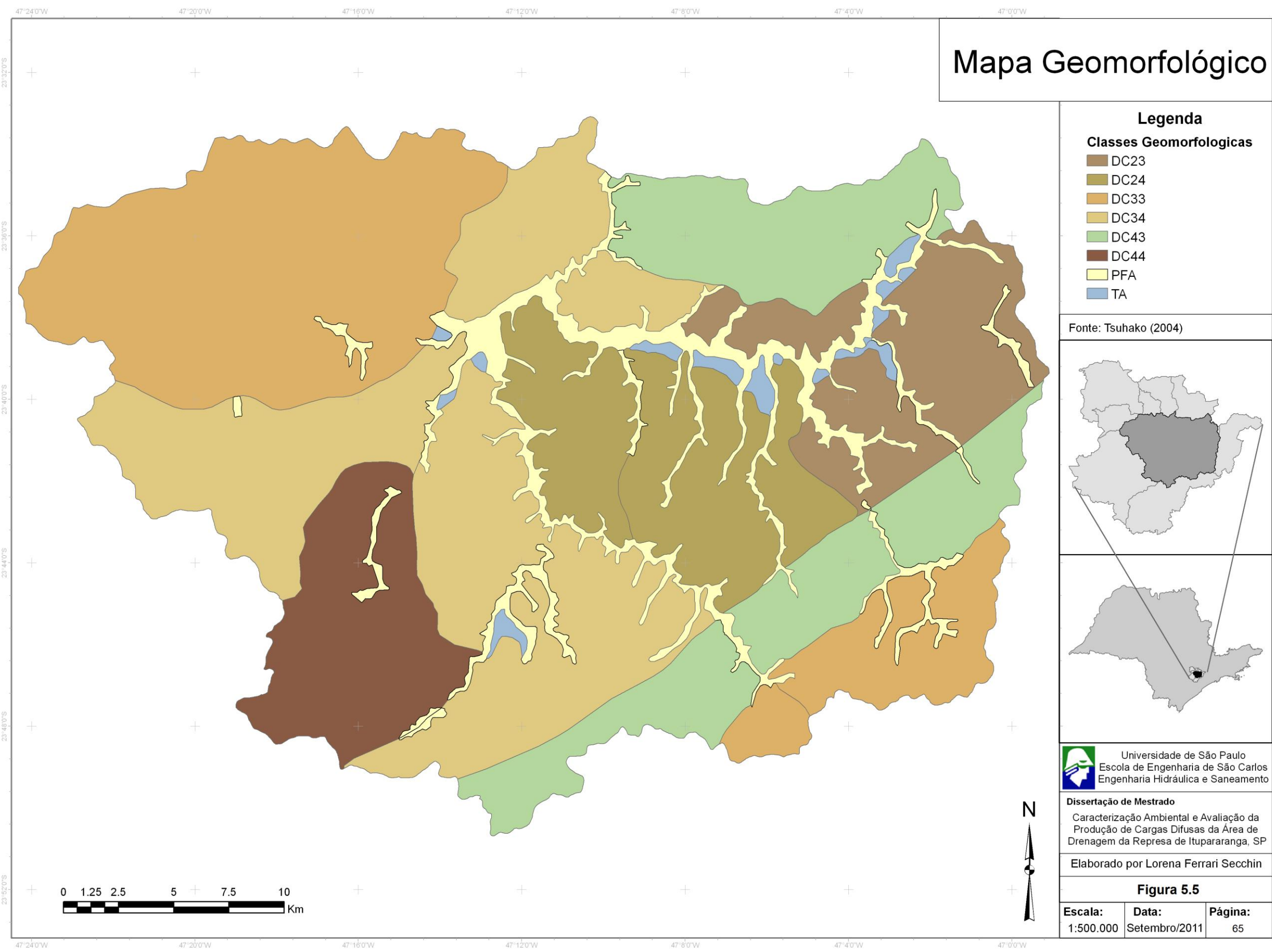
Tabela 5.5 – Descrição e Cobertura relativa das Classes Geomorfológicas

Classe	Entalhamento dos Vales	Dimensão Interfluvial	Área (km ²)	Área Relativa (%)
Apf	Planície Fluvial	-	67,55	7,21
TA	Terraços Aluvionares	-	11,08	1,18
DC23	Fraco	Média ⁽¹⁾	80,30	8,57
DC24	Formas de Topos Convexos	(20 a 40 m)	Pequena ⁽²⁾	103,47
DC33		Médio	Média ⁽¹⁾	222,09
DC34		(40 a 80 m)	Pequena ⁽²⁾	233,65
DC43		Forte	Média ⁽¹⁾	145,29
DC44		(80 a 160 m)	Pequena ⁽²⁾	73,10
TOTAL			936,54	100

Fonte: Ross (2001); ⁽¹⁾ 750 a 1750 m; ⁽²⁾ 250 a 750 m.

A partir do Mapa Geomorfológico é possível perceber que as formas Denudacionais (D) do tipo de modelado dominante Convexo (c) predominam na área de estudo, correspondendo a 91,6% da área, além de se identificar algumas áreas de formas de Acumulação de Planície Fluvial (Apf) e Terraços Aluvionares (TA).

De acordo com Ross & Moroz (1997), a área apresenta nível de fragilidade potencial de médio a alto, estando sujeito a fortes atividades erosivas.



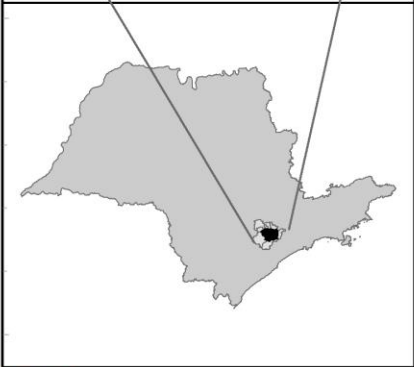
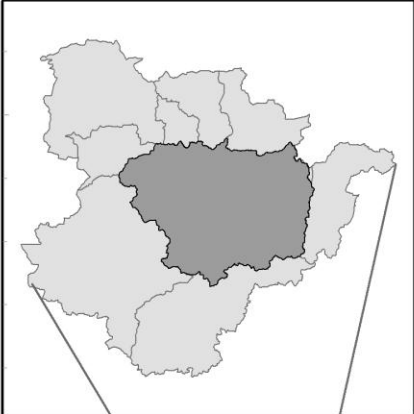
Mapa Geomorfológico

Legenda

Classes Geomorfologicas

- DC23
- DC24
- DC33
- DC34
- DC43
- DC44
- PFA
- TA

Fonte: Tsuhako (2004)



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Dissertação de Mestrado
Caracterização Ambiental e Avaliação da
Produção de Cargas Difusas da Área de
Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.5

Escala: 1:500.000	Data: Setembro/2011	Página: 65
-----------------------------	-------------------------------	----------------------

5.2.5. Geotecnia

O mapa geotécnico apresentado (Figura 5.6) é fruto da manipulação da base digital cedida por Tsuhako (2004) e está em escala 1:500.000. As classes apresentadas no mapa são descritas por Nakazawa *et al.* (1994).

A classe 1 ocupa 31,86% da área e abrange terrenos com alta suscetibilidade a movimentos de massa onde os escorregamentos planares, induzidos pela ocupação do solo, são mais freqüentes e causam mais prejuízos e riscos que os demais.

A classe 2 é constituída por terrenos com alta suscetibilidade à erosão por sulcos, ravinas e voçorocas sendo desencadeada por ações antrópicas como desmatamento e expansão urbana e viária inadequadas e ocupa 55,95% da bacia estudada.

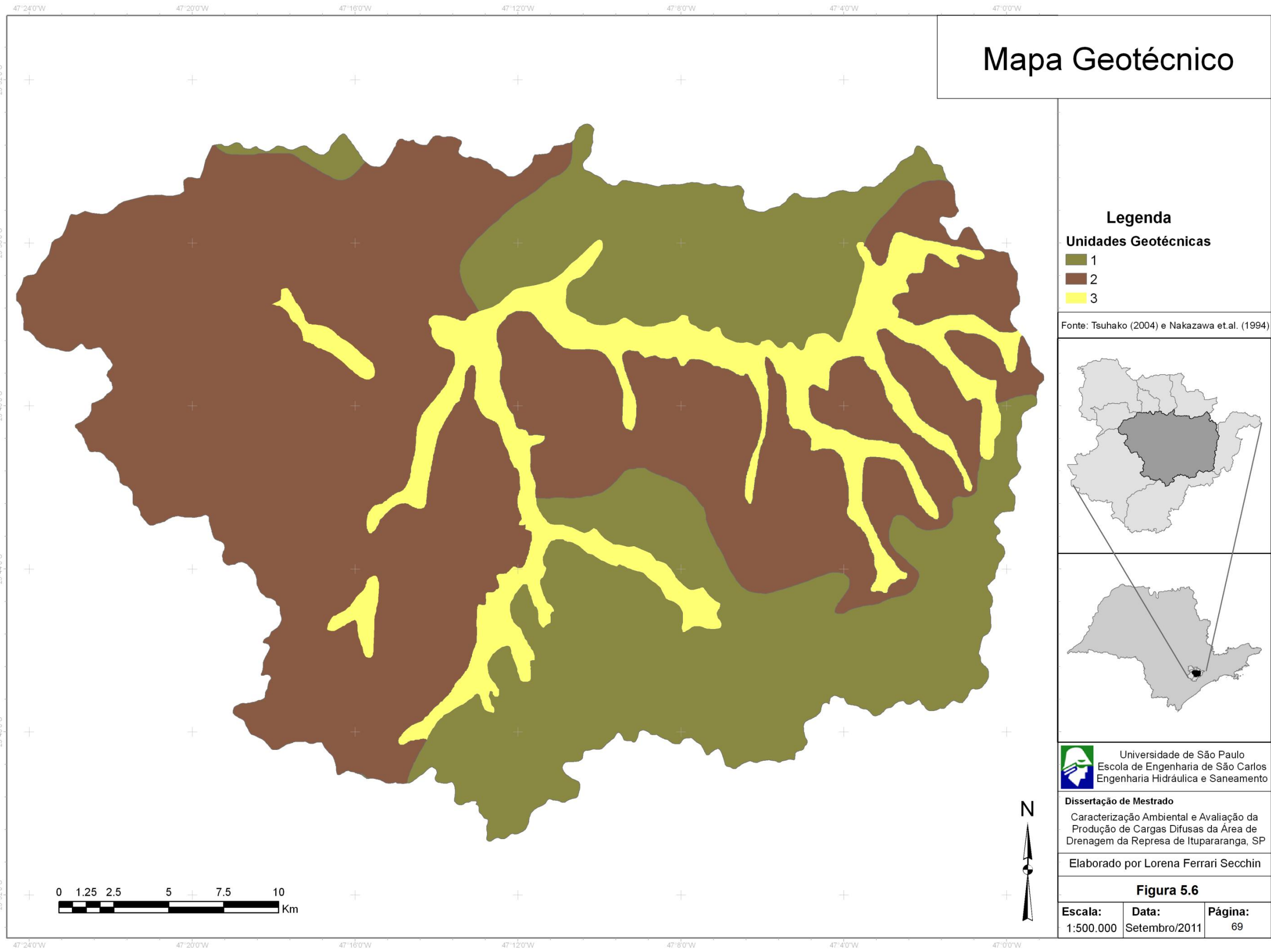
A classe 3 corresponde a terrenos praticamente planos com sedimentos de textura variada, situada junto a cursos d'água e pertencentes a planícies aluvionares interiores. Esses terrenos possuem alta suscetibilidade a inundações, recalques, assoreamento e erosão fluvial. Os problemas associados a esse tipo de terreno que abrange 12,18% da área dependem das formas de ocupação.

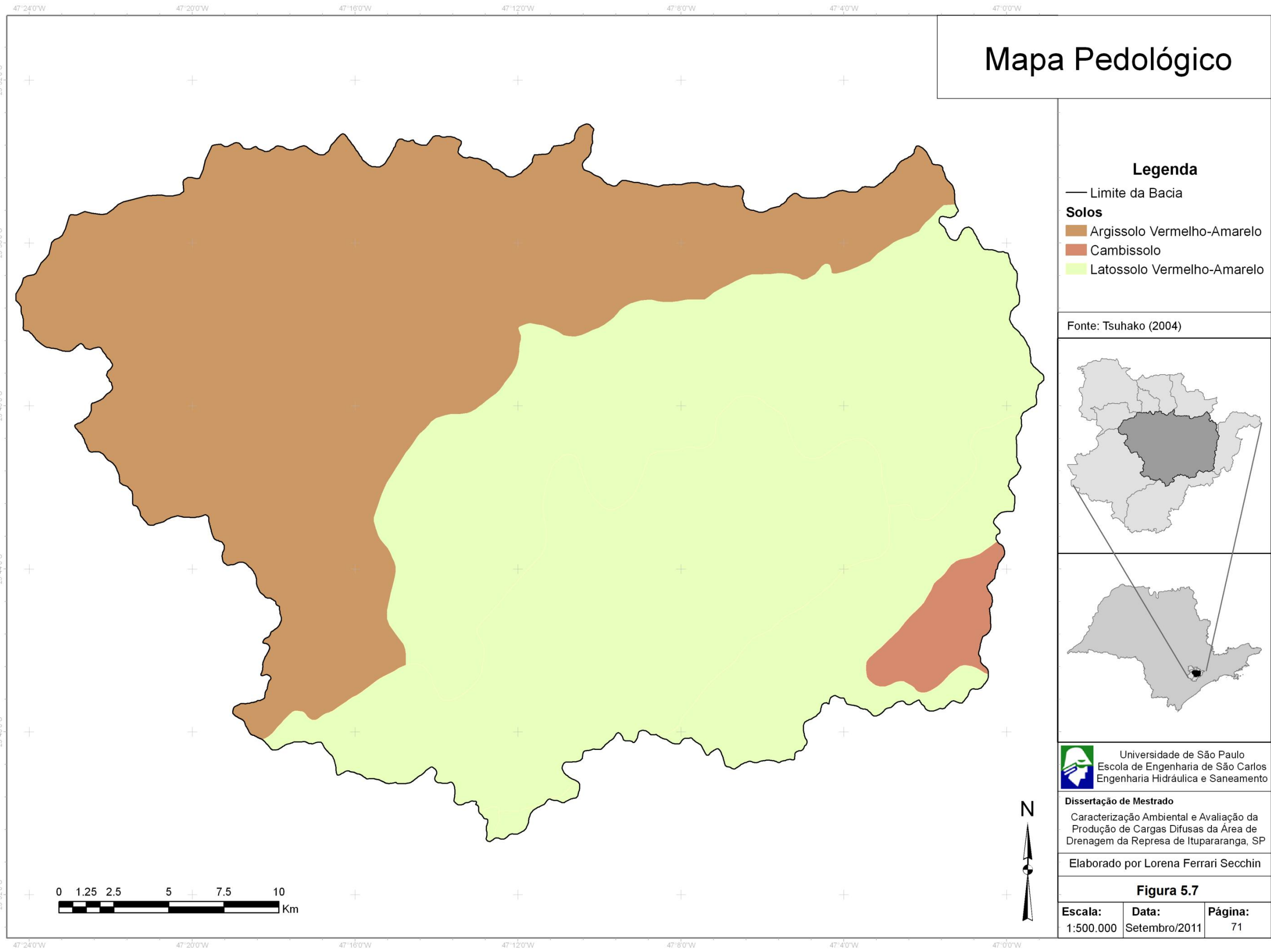
5.2.6. Pedologia

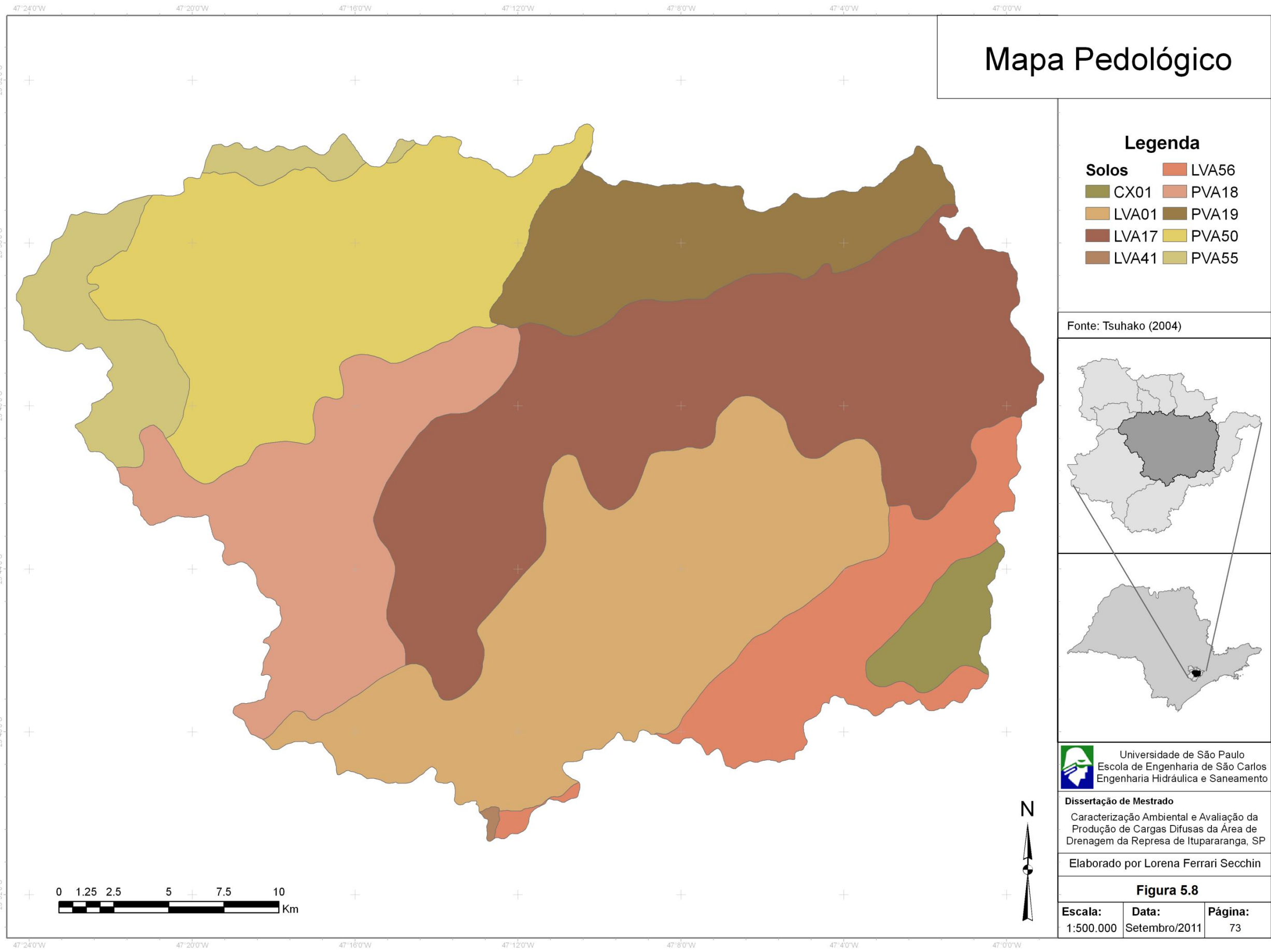
A área de estudo abrange três grandes grupos pedológicos (Figura 5.7): cambissolo (C), argissolo vermelho-amarelo (PVA) e latossolo vermelho-amarelo (LVA). Na Figura 5.8 esses grupos de solos são divididos de acordo com suas características.

Argilossolos vermelho-amarelos compreendem solos minerais não hidromórficos, com horizonte A e E seguidos de horizonte B textural não plíntico, argila de atividade alta ou baixa, com matiz 5YR ou mais vermelho e mais amarelo que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA), Teores de Fe₂O₃ < 11%, apresentando distinta individualização de horizontes os solos mais típicos da classe (IPT, 2005).

A área de estudo contém 4 tipos de argilossolos vermelho-amarelos: PVA18: Argissolo vermelho-amarelo distrófico, horizonte A moderado, textura média/argilosa a argilosa e relevo ondulado a forte ondulado; PVA19: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, com horizonte A moderado, textura média/argilosa a argilosa e relevo forte ondulado; PVA50: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, textura argilosa e média argilosa com latossolos vermelho-amarelos distróficos de textura argilosa, ambos com horizonte A moderado em relevo ondulado; PVA55: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, textura argilosa e média/argilosa com fase rochosa em relevo forte ondulado, Presença de latossolo vermelho-amarelos distrófico de textura argilosa em relevo forte ondulado e montanhoso, Ambos possuem horizonte A moderado (TSUHAKO, 2004; EMBRAPA, 1999).







Latossolos vermelho-amarelos abrangem solos minerais não hidromórficos com horizontes B latossólicos, teor de Fe_2O_3 na TFSA proveniente do ataque sulfúrico igual ou inferior a 11%, e normalmente maior do que 7% quando de textura argilosa ou muito argilosa e não concrecionários (quando concrecionários, são permitidos teores de Fe_2O_3 mais elevados), As cores são de matiz 5YR ou mais vermelhos, e mais amarelos que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (IPT, 2005).

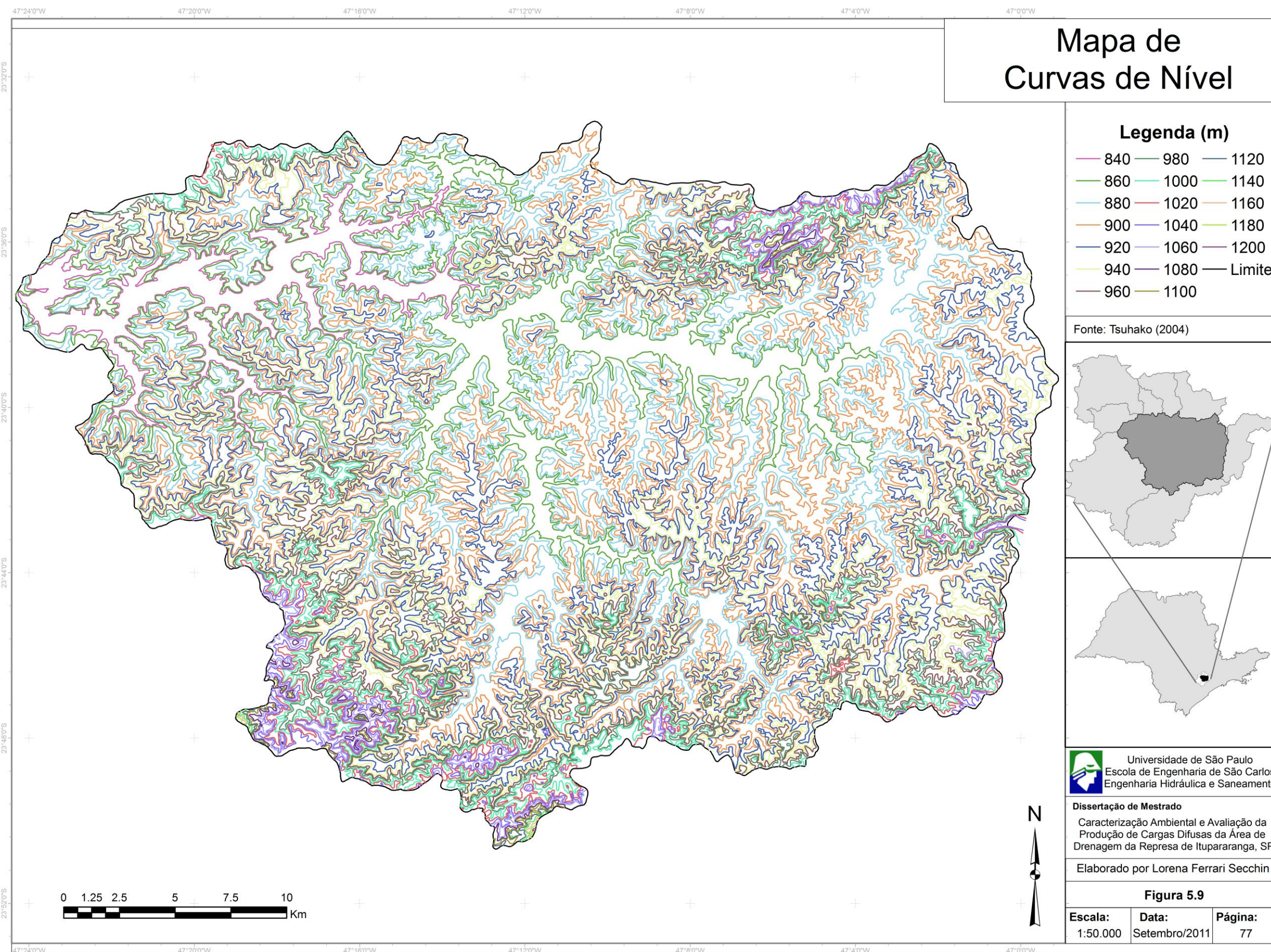
Estão presentes na área quatro tipos de latossolos: LVA1: latossolo vermelho-amarelo distrófico, com horizonte A moderado, de textura argilosa em relevo forte ondulado; LVA17: latossolo vermelho-amarelo distrófico em relevo ondulado com presença de cambissolo háplico distrófico de textura argilosa e média fase não pedregosa e pedregosa, Ambos possuem horizonte A moderado em relevo forte ondulado e montanhoso; LVA41: latossolo vermelho-amarelo distrófico câmbico pouco profundo com horizonte A moderado, de textura argilosa em relevo forte ondulado. Presença de grupo de gleissolos distróficos de textura argilosa em relevo de várzea; LVA56: latossolo vermelho-amarelo distrófico pouco profundo com presença de latossolo vermelho-amarelo, ambos com textura argilosa em relevo forte ondulado, Nota-se, ainda, presença de cambissolo háplico Tb (argila de baixa reatividade) e cambissolos háplicos latossólicos, ambos de textura argilosa e argilosa com cascalho em relevo montanhoso, todos distróficos com horizonte A moderado (TSHUAKO, 2004, EMBRAPA, 1999).

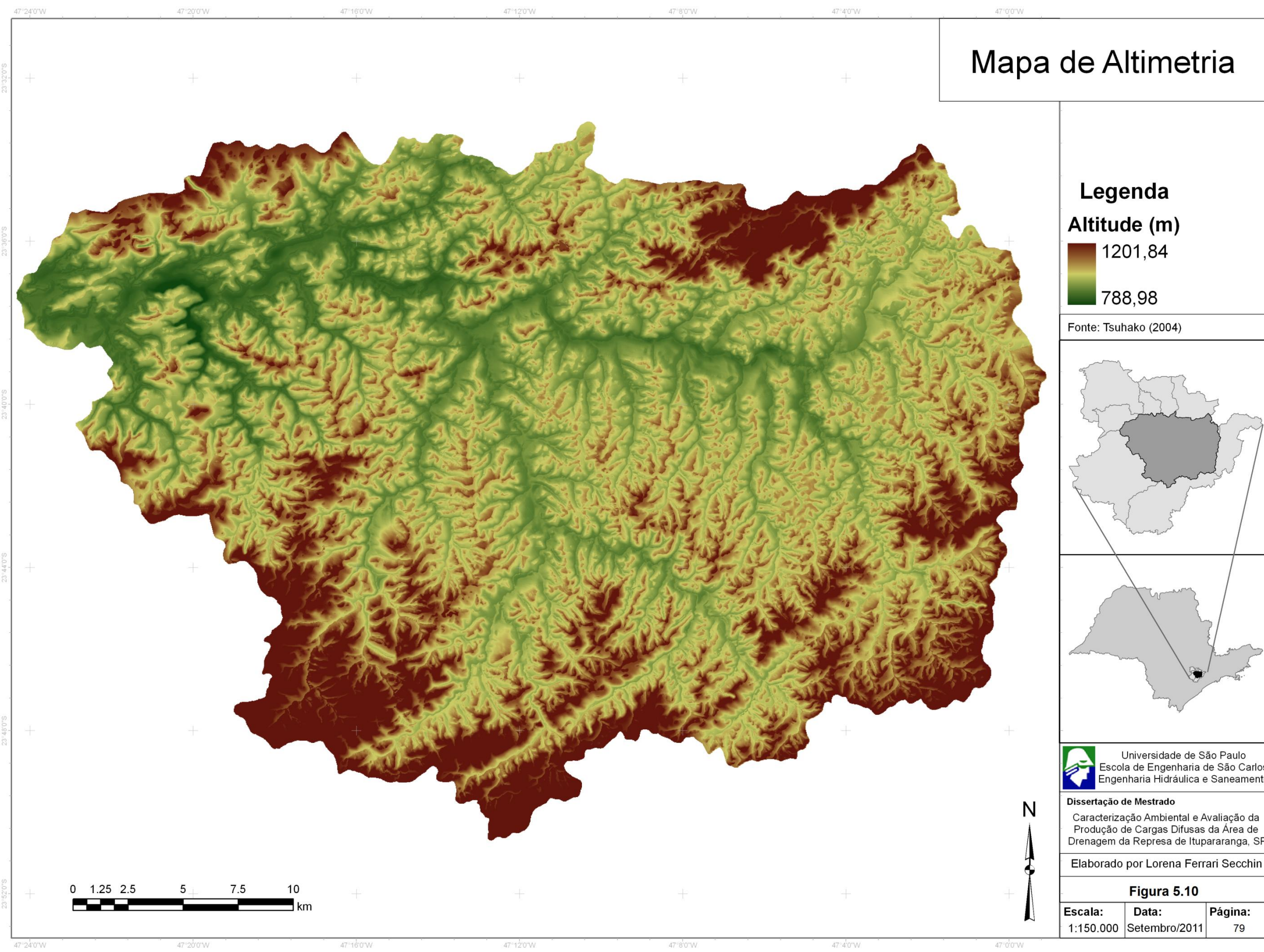
Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes vertissolos, chernossolos, plintossolos ou gleissolos. Tem seqüência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R (IPT, 2005).

Cambissolos háplicos Tb distróficos são solos com argila de atividade < 27 cmol/kg de argila e baixa saturação por bases ($V < 50\%$) na maior parte do horizonte B (inclusive BA), O tipo cambissolo presente na área é Cx1: Cambissolo háplico distrófico, com horizonte A moderado, textura argilosa e situado em relevo forte ondulado (TSHUAKO, 2004, EMBRAPA, 1999).

5.2.7. Topografia

Foram construídos mapas com as curvas de nível (Figura 5.9), o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (Figura 5.10) e a carta de declividade (Figura 5.11).

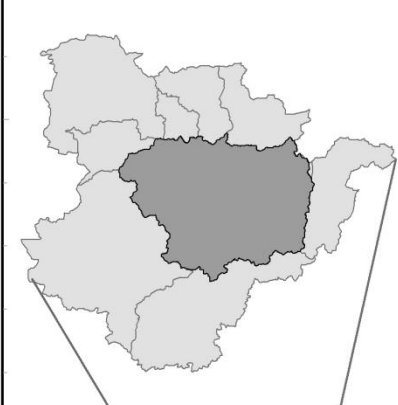




Mapa de Altimetria

Legenda
Altitude (m)
 1201,84
 788,98

Fonte: Tshako (2004)



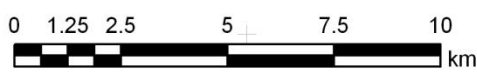
Universidade de São Paulo
 Escola de Engenharia de São Carlos
 Engenharia Hidráulica e Saneamento

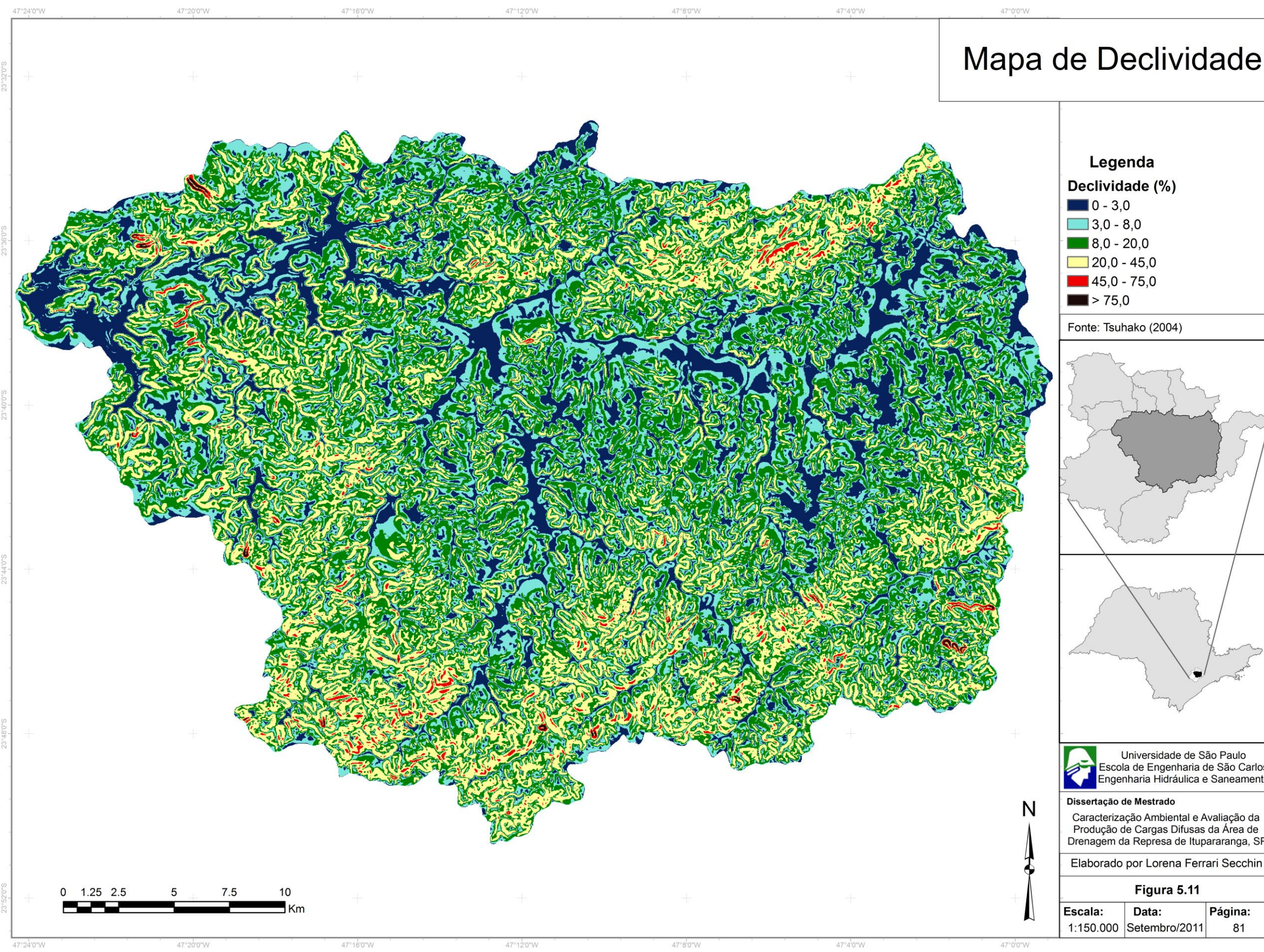
Dissertação de Mestrado
 Caracterização Ambiental e Avaliação da
 Produção de Cargas Difusas da Área de
 Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.10

Escala: 1:150.000	Data: Setembro/2011	Página: 79
-----------------------------	-------------------------------	----------------------

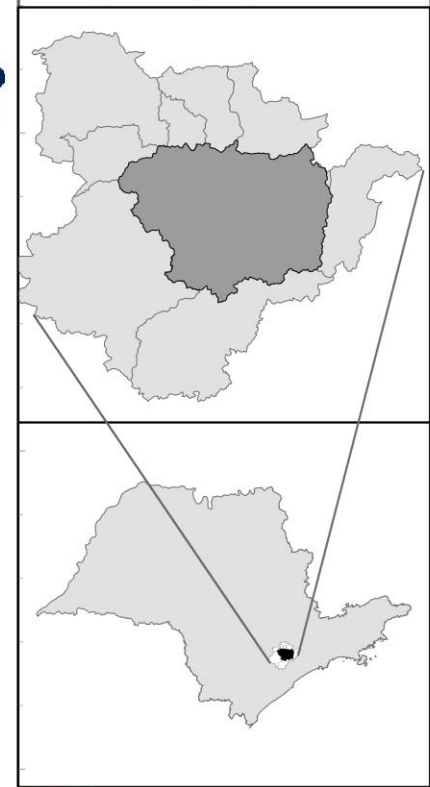




Mapa de Declividade

- Legenda**
- Declividade (%)**
- 0 - 3,0
 - 3,0 - 8,0
 - 8,0 - 20,0
 - 20,0 - 45,0
 - 45,0 - 75,0
 - > 75,0

Fonte: Tshako (2004)



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Dissertação de Mestrado
Caracterização Ambiental e Avaliação da
Produção de Cargas Difusas da Área de
Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.11

Escala: 1:150.000	Data: Setembro/2011	Página: 81
-----------------------------	-------------------------------	----------------------

Tabela 5.6 – Área relativa das classes de declividades na bacia.

Classes de Declividade (%)	% da Área
0 - 3	15,83
3 - 8	23,38
8 - 20	36,58
20 - 45	23,22
45 - 75	0,93
> 75	0,06

A partir das porcentagens de abrangência das classes de declividade da Tabela 5.6 constata-se que a área de estudo, em sua maior parte, tem características de relevo de suavemente ondulado (23,38%), passando por ondulado (36,58%), até fortemente ondulado (23,22%). O relevo classificado como plano (15,83%) é constituído por áreas de várzea e cursos de água e os relevos montanhoso (0,93%) e fortemente montanhoso (0,06%) abrangem uma porção pouco significativa da área.

Tabela 5.7 – Curva Hipsométrica da Bacia de Itupararanga

Cotas	Cota Média	Área (km ²)	Área Acumulada (km ²)	% Acumulada	Cota Média*Área
1180 - 1200	1190	0,09	0,09	0,01	107,1
1160 - 1180	1170	0,15	0,24	0,03	175,5
1140 - 1160	1150	0,28	0,52	0,06	322
1120 - 1140	1130	0,59	1,11	0,12	666,7
1100 - 1120	1110	1,41	2,52	0,27	1.565,1
1080 - 1100	1090	2,68	5,20	0,56	2.921,2
1060 - 1080	1070	6,24	11,44	1,22	6.676,8
1040 - 1060	1050	10,22	21,66	2,31	1.0731
1020 - 1040	1030	16,14	37,80	4,04	16.624,2
1000 - 1020	1010	28,87	66,67	7,12	29.158,7
980 - 1000	990	39,04	105,71	11,29	38.649,6
960 - 980	970	49,13	154,84	16,53	47.656,1
940 - 960	950	67,83	222,67	23,78	64.438,5
920 - 940	930	108,25	330,92	35,33	100.672,5
900 - 920	910	166,52	497,44	53,11	151.533,2
880 - 900	890	186,03	683,47	72,98	165.566,7
860 - 880	870	140,39	823,86	87,97	122.139,3
840 - 860	850	76,05	899,91	96,09	64.642,5
820 - 840	830	36,63	936,54	100,00	30.402,9
Total		936,54		Total	854.649,6

Pela análise da Curva Hipsométrica da Figura 5.12 e Tabela 5.7 da bacia em estudo nota-se que 10% da área está acima de 1000 metros de altitude, e cerca de 15% abaixo de 880 metros, portanto a maior porção da bacia localiza-se entre 900 e 1000 metros. As altitudes média e mediana quase coincidem.

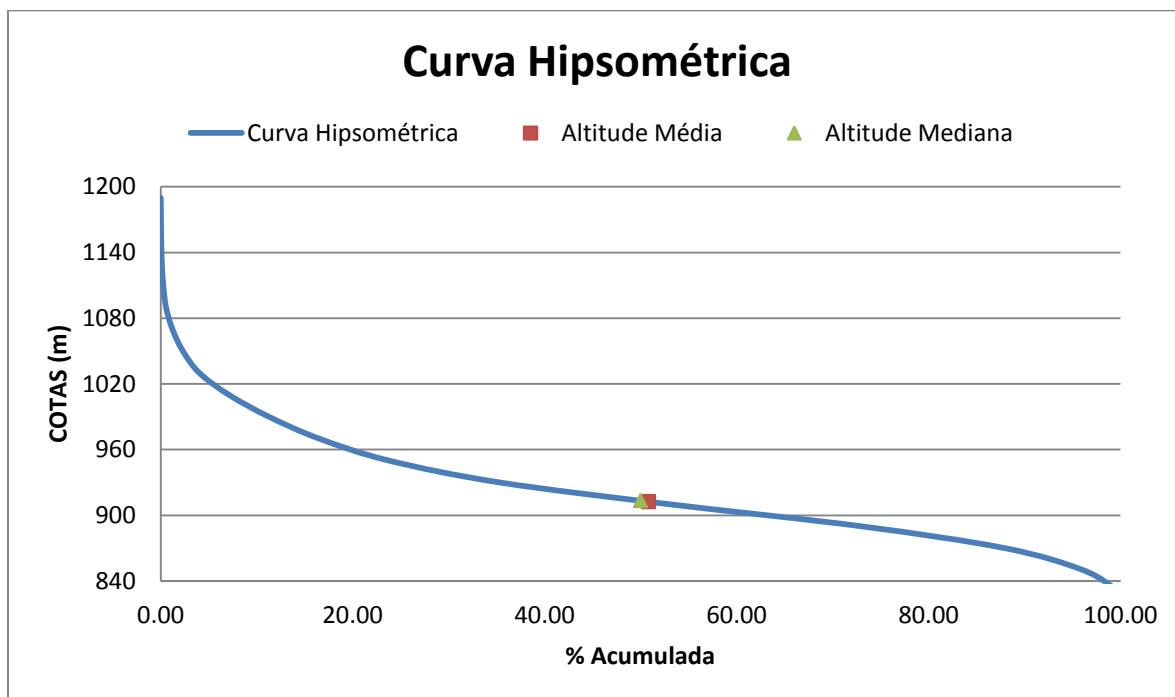


Figura 5.12 – Curva Hipsométrica.

Esse resultado é reflexo das classes de declividade que abrangem 83,28% da área da bacia hidrográfica que correspondem aos relevos Suavemente Ondulado, Ondulado e Fortemente Ondulado.

5.3. Simulação Computacional - SWAT

Para realizar a calibração do modelo para a produção de vazões da bacia, foi necessário estudar o hidrograma da série histórica. A partir desta análise, observou-se, através da Figura 5.13, comportamento atípico de vazão no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2004, levantando hipóteses acerca da operação da barragem.

De acordo com informação do membro do Comitê da Bacia Sorocaba e Médio-Tietê, André Cordeiro Alves dos Santos (informação verbal), o período atípico do hidrograma correspondeu a mudança de operação da barragem com o objetivo de elevar a cota do reservatório e aumentar seu volume útil.

O intuito inicial era de realizar a calibração para este período (2000-2004), validando o modelo para os anos de 2005 a 2009. Entretanto, teve-se que optar por um período menor de calibração e validação devido ao comportamento da série histórica.

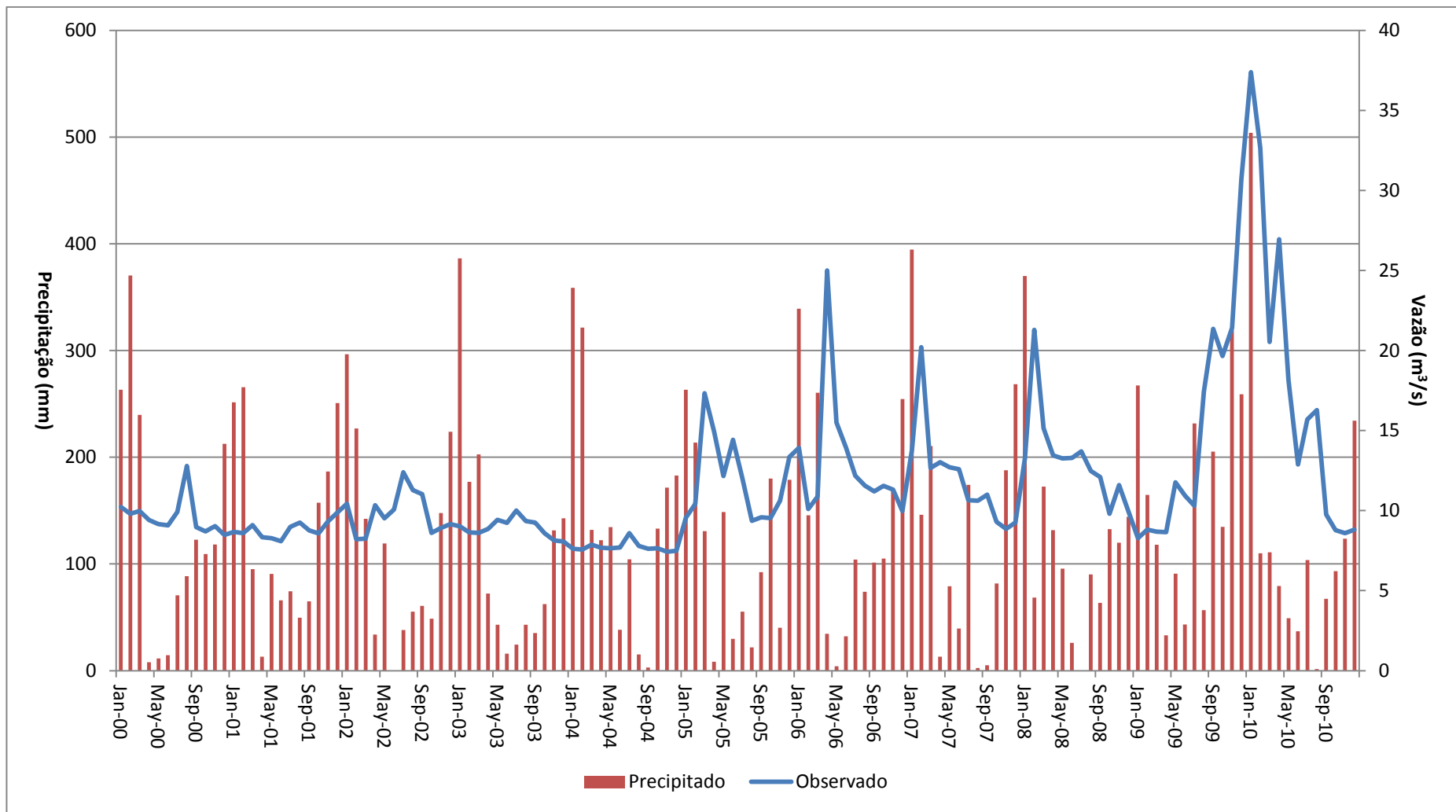


Figura 5.13 – Vazão Observada X Precipitação Pluviométrica no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2010

Os dados de entrada de clima referentes aos parâmetros requeridos pelo modelo SWAT estão discriminados na Tabela 5.8. Para que fossem encontrados os valores requeridos pelo modelo, foi utilizado um gerador climático, WGN Excel Macro, próprio para o modelo, disponível no site <http://swatmodel.tamu.edu/> a partir dos dados da estação climatológica Sorocaba.

Tabela 5.8 – Parâmetros Climáticos da Estação Sorocaba

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	23.16	24.28	23.60	21.10	18.51	16.81	18.08	18.83	20.19	21.04	22.96	23.00
TMPMN	21.96	22.91	22.23	19.75	17.09	15.27	16.55	17.20	18.74	19.73	21.60	21.73
TMPSTDMX	0.51	0.85	0.34	0.17	1.04	0.98	0.92	0.61	0.97	0.89	1.40	0.44
TMPSTDMN1	0.53	0.83	0.39	0.20	1.03	1.00	0.84	0.70	1.01	0.96	1.42	0.58
PCPMM	269.87	119.87	86.27	81.13	54.07	32.67	80.53	42.93	84.20	102.60	152.27	231.73
PCPSTD	2.56	2.25	0.33	0.80	1.03	0.54	3.07	1.38	1.96	1.37	2.53	2.09
PCPSKW	1.35	1.63	2.67	2.07	4.58	2.33	2.72	2.30	2.16	0.89	2.18	0.98
PR_W1	0.50	0.95	0.67	0.60	0.95	0.63	0.29	0.29	0.56	0.88	0.75	0.50
PR_W2	0.95	0.95	0.82	0.96	0.93	0.77	0.92	0.64	0.76	0.70	0.73	0.93
PCPD	29.00	27.00	22.00	25.00	29.00	22.00	24.00	14.00	21.00	23.00	22.00	29.00
RAINHHMX	13.85	9.86	9.90	8.20	10.28	3.86	9.83	5.27	8.43	5.84	14.17	12.67
SOLARAV	17.22	20.01	18.78	15.87	13.58	12.74	12.68	15.59	16.45	18.69	21.00	20.57
DEWPT	18.67	19.10	18.12	16.23	13.73	11.50	11.94	11.34	13.38	15.39	16.84	17.87
WNAV	2.39	2.00	2.26	2.21	1.98	1.88	2.00	2.45	2.73	2.92	2.37	1.78

Onde esses parâmetros significam:

- PCPMM: Precipitação média (mm)
- PCPSTD: Desvio da precipitação (mm)
- PCPD: Número de dias de precipitação (dias)
- RAINHHMX: Precipitação máxima de 0,5 horas (mm)
- TMPMX: Temperatura máxima (°C)
- TMPMN: Temperatura mínima (°C)
- TMPSTDMX: Desvio da temperatura máxima (°C)
- TMPSTDMN: Desvio da temperatura mínima (°C)
- SOLARAV: Valor diário da energia solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)
- WNAV: Velocidade do vento (m/s)
- DEWPT: Temperatura no ponto de orvalho (°C)
- PR_W1: Probabilidade de dias de chuva seguidos de dias de seca (%)
- PR_W2: Probabilidade de dias de chuva seguidos de dias de chuva (%)
- PCPSKW: Coeficiente de assimetria para a precipitação máxima.

5.3.1. Calibração e Validação do modelo

Foram geradas 25 sub-bacias conforme a Figura 5.14, e 123 HRU's a partir do delineamento da bacia para o mapa atual de uso e ocupação. A geração dessas sub-bacias é interessante quando há dados distribuídos espacialmente na área de estudo pois possibilita que o a validação do modelo com o auxílio desses dados. Entretanto, na bacia em estudo, o modelo foi calibrado somente para o exutório da área de estudo por ser o local que possui uma série histórica de dados.

A modelagem inicial da bacia, sem alteração de parâmetros, gerou um coeficiente de eficiência de -0,96. Depois que se procedeu a calibração manual, obteve-se o valor de 0,410 para o coeficiente de eficiência, CNS, valor considerado como aceitável, comparável ao alcançado por Lopes (2008). O valor do PBIAS encontrado foi de 0,0%, estando dentro da faixa de aceitação de $\pm 25\%$ descrita na literatura como satisfatória (MORIASI *et al.*, 2007).

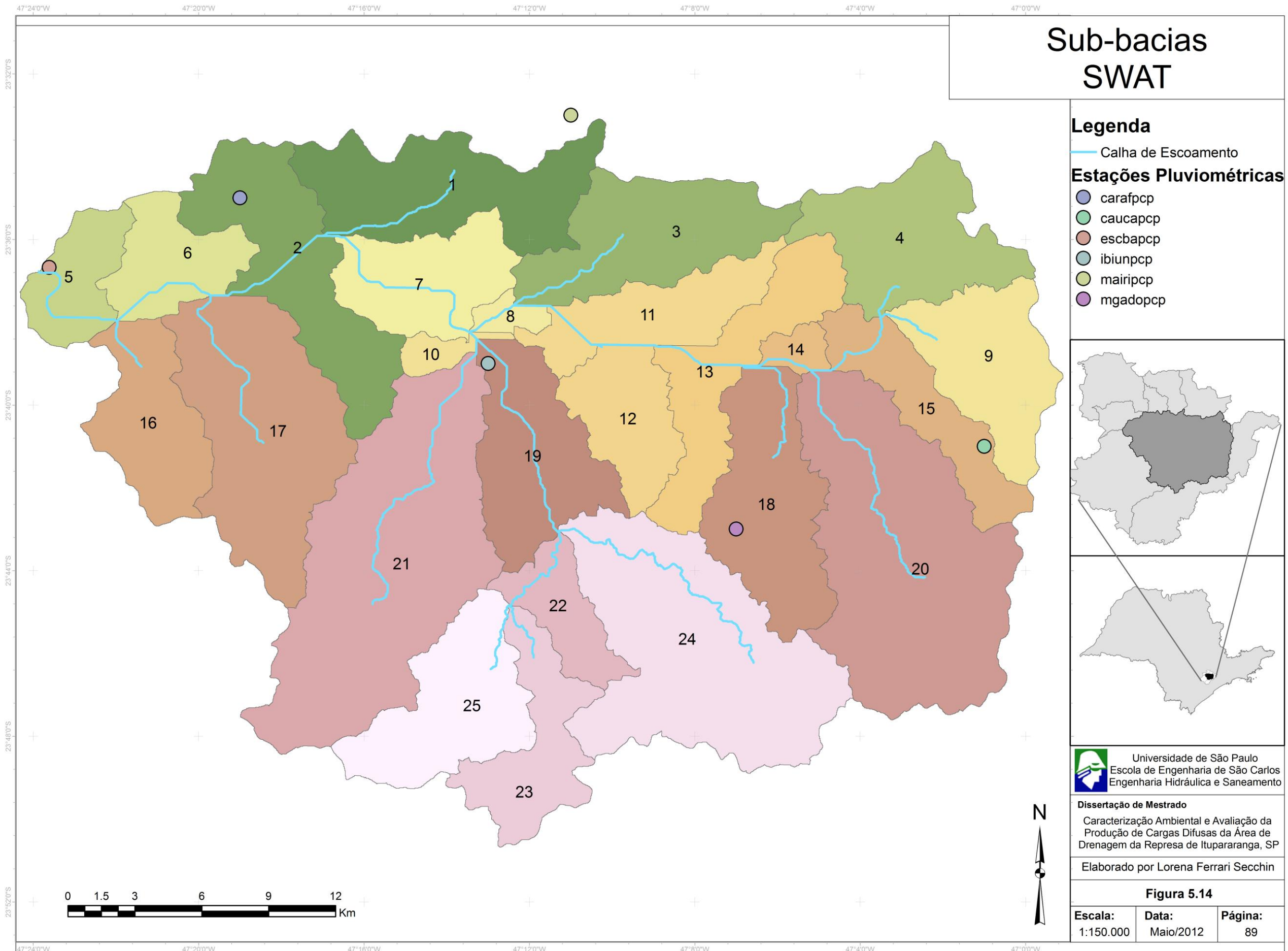
Valores maiores de coeficientes de ajuste do modelo encontrados na literatura, em sua maioria, são de pesquisas fora do Brasil pela quantidade de trabalhos realizados ou desenvolvidos em bacias experimentais.

Comparando as vazões obtidas pelo SWAT com a observada através da Figura 5.15, nota-se que a vazão simulada amenizou os picos, gerando uma série mais suave, indicando que o SWAT buscou a média da vazão de saída como se pode perceber pela Tabela 5.9. Através desta figura também é importante notar que os picos de vazão coincidem com os períodos chuvosos, não sendo amenizados pela existência da barragem.

Tabela 5.9 – Vazões Médias Observada e Calibrada

	Observada	Calibrada
Vazão média (m ³ /s)	12,59	12,36

A autocalibração realizada pelo modelo não resultou em melhores coeficientes estatísticos, por isso, manteve-se os valores alcançados na calibração manual.



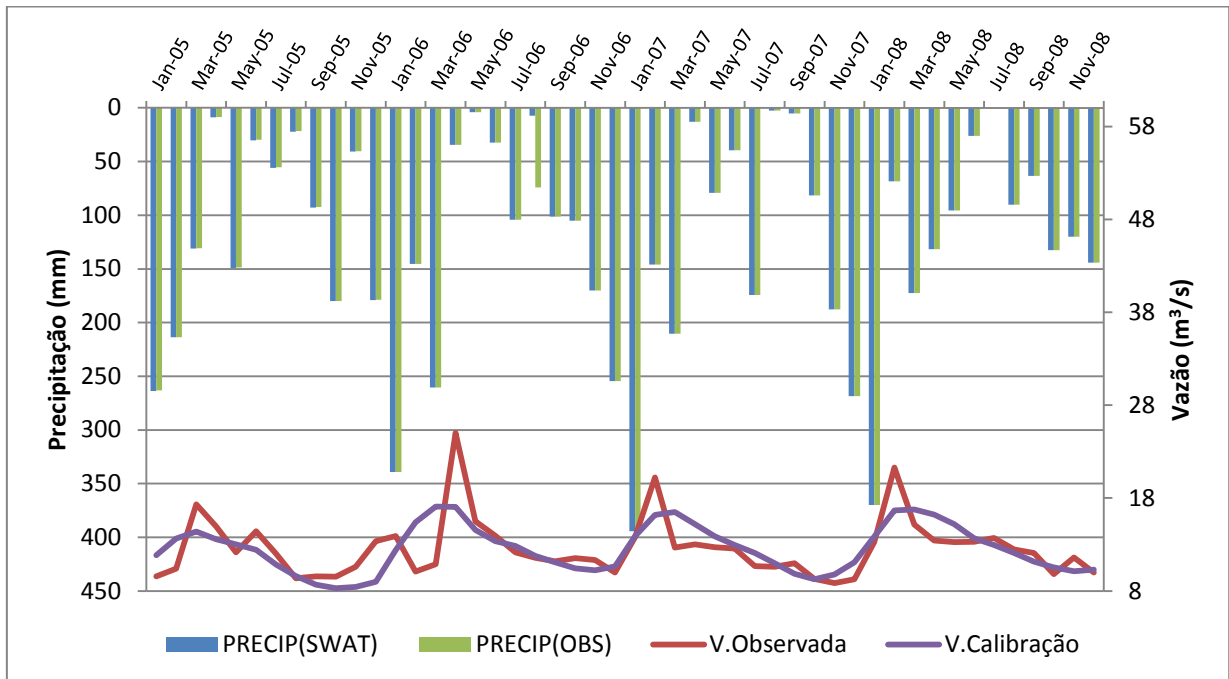


Figura 5.15 – Comparação entre valores de precipitação e vazão observados e simulados - Calibração.

A etapa de validação da modelagem foi para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2010, resultou em 0,301 para o coeficiente de eficiência (CNS) e PBIAS de 5,5%, valores estes também classificados como aceitáveis. Este valor de PBIAS diz que a simulação tem uma tendência de 5,5% da subestimar os valores reais. O comportamento mediano das vazões simuladas também foi observado para esse período como pode ser visto na Figura 5.16.

Os valores obtidos se assemelham grosseiramente aos resultados de Lopes (2008) que analisou a produção de água e sedimentos em sete microbacias experimentais localizadas nos municípios de Mafra e Rio Negrinho e sua melhor simulação obteve COE de 0,42 para a calibração e 0,57 para validação.

A aplicação desse modelo no Brasil foi difundida a partir da pesquisa trabalho de Machado (2002) em que se trabalhou com escoamento e produção de sedimentos na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba (SP). Baldissera (2005) simulou a produção de vazão na Bacia do Rio Cuiabá. Moro (2005) utilizou o SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários – Piracicaba. Esses trabalhos obtiveram valores de COE na faixa de 0,7 a 0,92 nas etapas de calibração e validação.

Minoti (2006) utilizou o modelo para estimar a produção de sedimentos e escoamento na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, região central do estado de São Paulo. Souza *et al.* (2009) simularam a vazão líquida na bacia hidrográfica do Rio Negro,

estado de Santa Catarina para avaliar a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos.

Blainski *et al.* (2008) avaliaram o potencial de utilização do modelo SWAT para simular vazão em função das atividades agrícolas desenvolvidas na bacia hidrográfica do Rio Araranguáno estado de Santa Catarina. Lino (2009) analisou a produção de água e sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Preto (1000,41 km²), localizada no planalto norte de Santa Catarina. Bonumá (2011) analisou a produção de água, sedimentos e transferência de fósforo na bacia hidrográfica do Arroio Lino no sul do país obteve COE de 0,505.

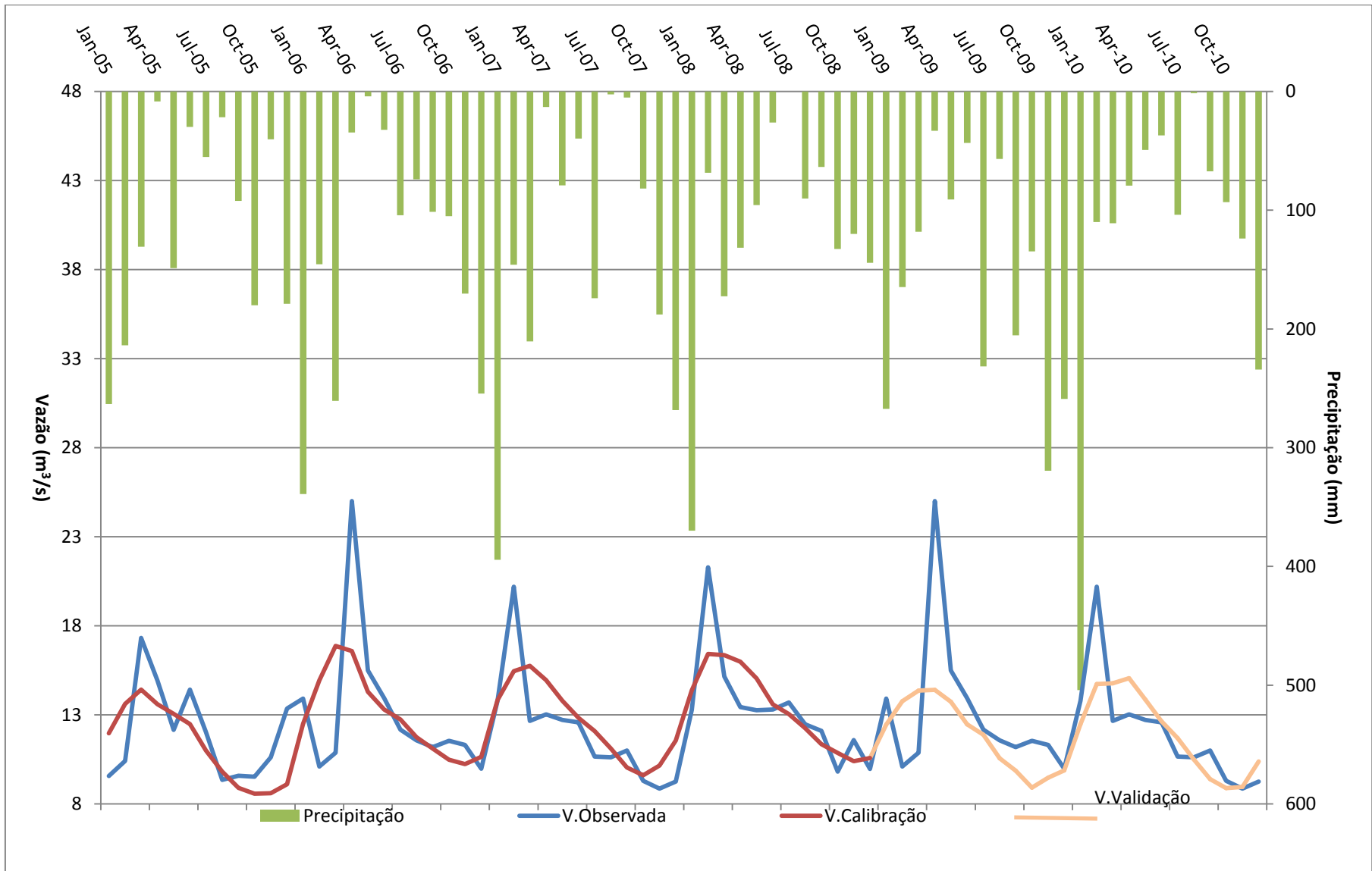


Figura 5.16 – Calibração e Validação da Simulação feita no SWAT

5.3.2. Poluição Difusa

Para estimar os valores de poluição difusa, utilizou-se a série calibrada pelo modelo para os parâmetros de nitrogênio e fósforo. Os resultados obtidos correspondem à média anual de produção para os anos simulados (2005-2010) e que foram comparados à pesquisas que também simularam essas variáveis constam na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Comparação de Resultados de Poluição Difusa

<i>Quantidade de nutrientes aportados nos curso d'água em kg.ha⁻¹.ano⁻¹</i>			
	Nitrogênio	Fósforo	Área (km²)
Atual	9,66	1,50	936,41
Neves (2005)	0,10 – 15,05	0,06 – 7,12	19,49 – 112,85 *(Subbacias)
Prodanoff (2005)	0,3 – 6,7	0,3 – 1,5	*De acordo com o uso do solo urbano
Eiger <i>et al.</i> (1999)	12,7	0,72	1142,0
DIOGO <i>et al.</i> (2003)	1,5 e 5,0	0,3 e 1,0	1500,0
MANSOR (2005)	2,3	0,4	301,4

A ausência de uma série contínua de dados de qualidade de água inviabilizou a calibração do modelo para estas variáveis. Mesmo no Brasil, calibrações com o SWAT para este tipo de variável em ambientes sem influências de altas cargas de nutrientes como o trabalho desenvolvido por Neves (2005) ainda é escasso. A pesquisa desenvolvida por Neves (2005) simulou a produção de sedimentos e nutrientes em bacias com a presença de atividades altamente poluidoras no Brasil.

Prodanoff (2005) apresentou valores de nitrogênio e fósforo para diversos uso urbanos da terra que variam de 0,3 – 6,7 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e de 0,3 – 1,5 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. De acordo com esses valores, pôde-se traçar uma relação de grandezas dos valores obtidos para os nutrientes, considerando que Said *et al.* (2001), *apud* De Vito (2007), afirmaram que a fontes não pontuais urbanas tem carga poluidora maior que em áreas agrícolas. Dessa forma, conclui-se que os valores obtidos para a área de estudo são superiores aos esperados.

SAID, A., STEVENS, D., SEHLKE, G. (2001). *The Relation of land-use to total nitrogen/phosphorus in streams*. AWRA Annual Water Resources Conference; trabalho apresentado em Albuquerque, New Mexico; Nov 12-15, 2001.

Eiger *et al.* (1999) *apud* Mansor (2005) estimaram as cargas difusas em $0,72 \text{ KgP}_{\text{total}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $12,7 \text{ KgN}_{\text{total}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. na bacia hidrográfica do rio do Peixe – SP, com área igual a 1142 Km^2 . Diogo *et al.* (2003) *apud* Mansor (2005) trabalharam com cargas difusas de origem agrícola na bacia hidrográfica do rio Degebe-Portugal, de 1500 Km^2 , obteve valores entre $1,5$ e $5 \text{ KgN}_{\text{total}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $0,3$ e $1 \text{ KgP}_{\text{total}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$

Mansor (2005) teve como local de estudo a área de drenagem da bacia do ribeirão do Pinhal, com $301,4 \text{ Km}^2$, e atingiu resultados iguais a $2,3$ e $0,4 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para N_{total} e P_{total} , respectivamente. O interessante da comparação com este estudo está no fato do ponto de avaliação de cargas difusas estar localizado a jusante de reservatório que também é o exutório da bacia.

Através da comparação entre essas pesquisas, observa-se que os valores encontrados pela simulação do modelo calibrado encontram-se dentro das faixas obtidas por Neves (2005), entretanto esses valores foram obtidos para subbacias que possuem granjas dentro de seus limites, podendo indicar que a área de drenagem da represa de Itupararanga possui índices elevados para nutrientes difusos.

A comparação entre as pesquisas de Prodanoff (2005), Mansor (2005), Diogo *et al.* (2003) e Eiger *et al.* (1999) com os valores resultantes neste trabalho observa-se que os valores da simulação são superiores, com exceção para o nitrogênio obtido por Eiger *et al.* (1999). Com essa avaliação somada com a comparação com Neves (2005), pode-se concluir que a bacia hidrográfica de Itupararanga possui níveis consideráveis de poluição por carga difusa, sendo necessária uma investigação mais apurada dessa variável para o local de estudo.

DIOGO, P. A.; COELHO, P. S.; ALMEIDA, M. C.; MATEUS, N. S.; RODRIGUES, A. C. Estimativa de cargas difusas com origem agrícola na bacia hidrográfica do rio Degebe. *Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, 6, Cabo Verde – Portugal: INGRH, APRH, ABRH e AMCT, p.135-146, novembro de 2003, CD-Rom.
EIGER, S.; SALATI, E.; PETRACCO, P.; SALATI, E.; MARCONDES, D. S. Modelagem de cargas de nutrientes para a bacia hidrográfica do rio do Peixe, SP. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 13, Belo Horizonte-MG: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, novembro de 1999. CD-Rom.

5.4. Cenários

Para análise dos cenários, optou-se por comparar as séries de vazão sem influência das alterações dos parâmetros da etapa de calibração com a finalidade de expor a variabilidade entre as séries resultantes e para auxiliar a compreensão dos valores de vazão obtidos, foi utilizada a produção de sedimentos no exutório.

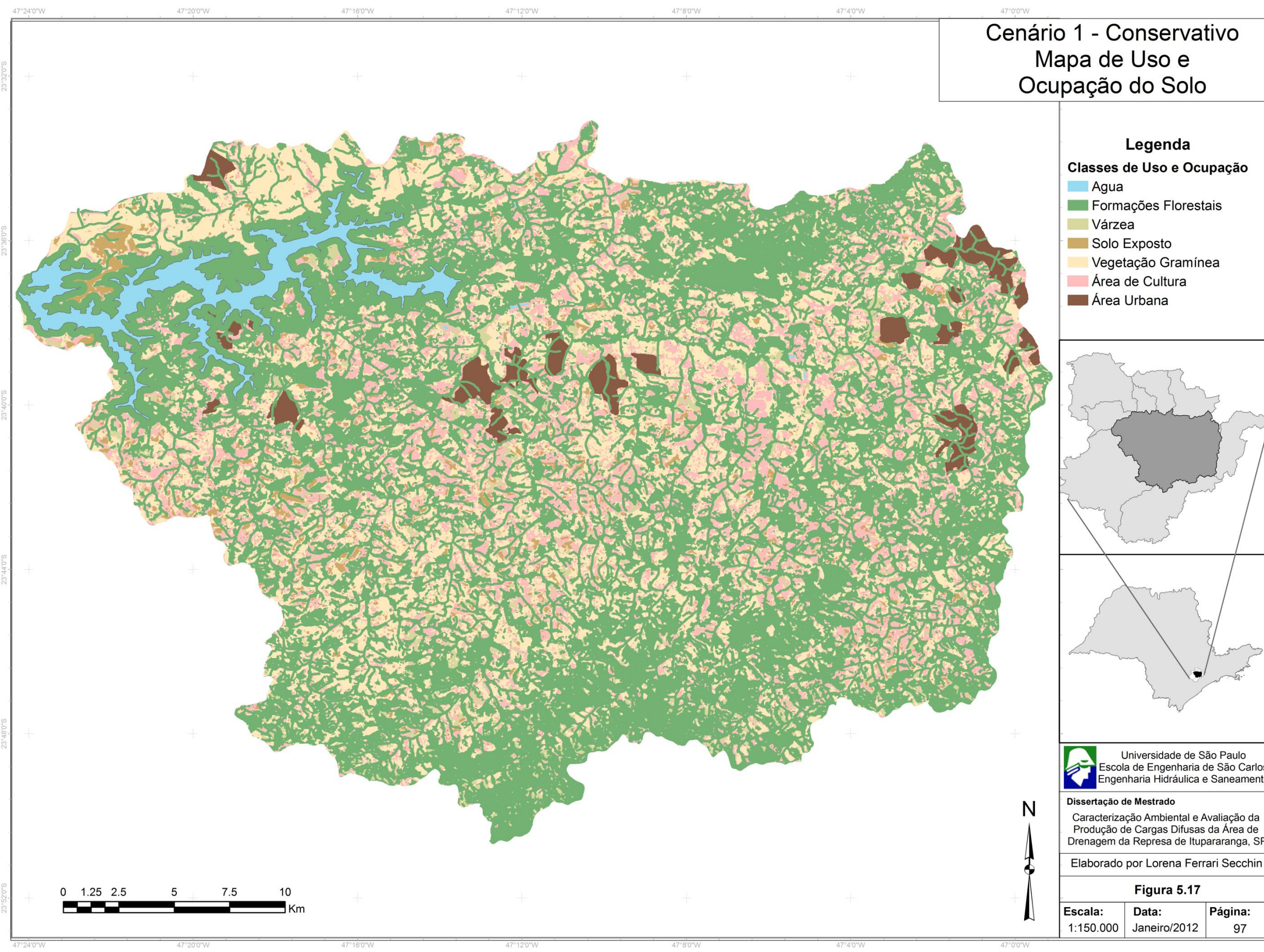
Para o Cenário 1, da Figura 5.17, onde foram aplicadas práticas conservacionistas, as porcentagens de ocupação de cada classe estão descritas na Tabela 5.11. Neste cenário, a maioria das classes foi convertida para classe de Formações Florestais, que aumentou de 42,03% para 55,39%. As classes Várzea, Solo Exposto, Vegetação Gramínea, Cultura e Área Urbana ficaram com respectivos 3,51%, 2,63%, 22,09%, 11,87% e 2,23% da área total. A classe Água se manteve em 2,38%.

Pela diferença entre os métodos de obtenção do mapa de Uso e Ocupação do Solo produzido neste trabalho e o mapa elaborado por Tshako (2004), mostrado na Figura 5.19 inviabilizou a comparação direta entre eles e por isso não foi possível prever um padrão de expansão. Mesmo assim, compararam-se as classes que possuíam identidades semelhantes e projetou-se uma expansão da área urbana e área de cultura para o Cenário 2, como observado na Figura 5.18. Além disso, parâmetros do modelo que indicam aumento da área impermeabilizada e o grau de densidade populacional da área urbana também foram alterados.

A Tabela 5.11 mostra os resultados dessa expansão. Neste cenário, a maioria das classes foi convertida para classe de Cultura, Área Urbana e Solo Exposto que correspondem a 37,12%, 7,84% e 11,60% da área, respectivamente. As classes Várzea, Vegetação Gramínea e Formações Florestais ficaram com respectivos 1,21%, 5,4% e 34,43% da área deste cenário. A classe Água se manteve em 2,38%.

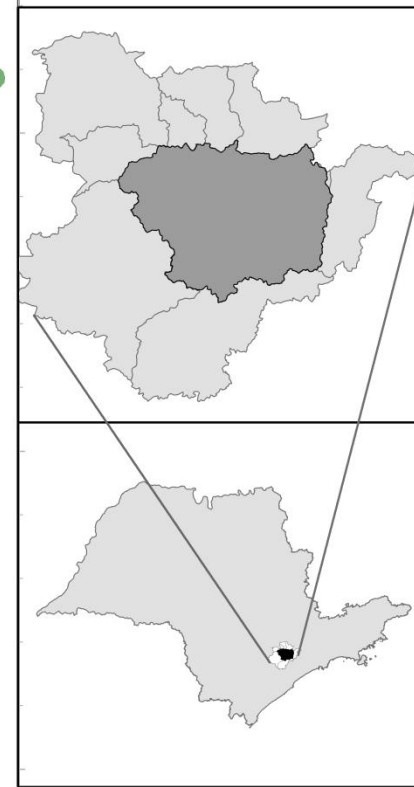
Tabela 5.11 – Área relativa das Classes de Uso e Ocupação do Solo de acordo com cada cenário

Classes de Uso e Ocupação	Área Relativa (%)		
	Cenário Original	Cenário 1	Cenário 2
Água	2,38	2,38	2,38
Formações Florestais	42,03	55,39	34,43
Várzea	4,63	3,51	1,21
Solo Exposto	3,05	2,63	11,60
Vegetação Gramínea	28,10	22,09	5,40
Cultura	16,95	11,87	37,12
Área Urbana	2,86	2,23	7,84
TOTAL	100	100	100



Cenário 1 - Conservativo
Mapa de Uso e
Ocupação do Solo

- Legenda**
- Classes de Uso e Ocupação**
- Água
 - Formações Florestais
 - Várzea
 - Solo Exposto
 - Vegetação Gramínea
 - Área de Cultura
 - Área Urbana



Universidade de São Paulo
 Escola de Engenharia de São Carlos
 Engenharia Hidráulica e Saneamento

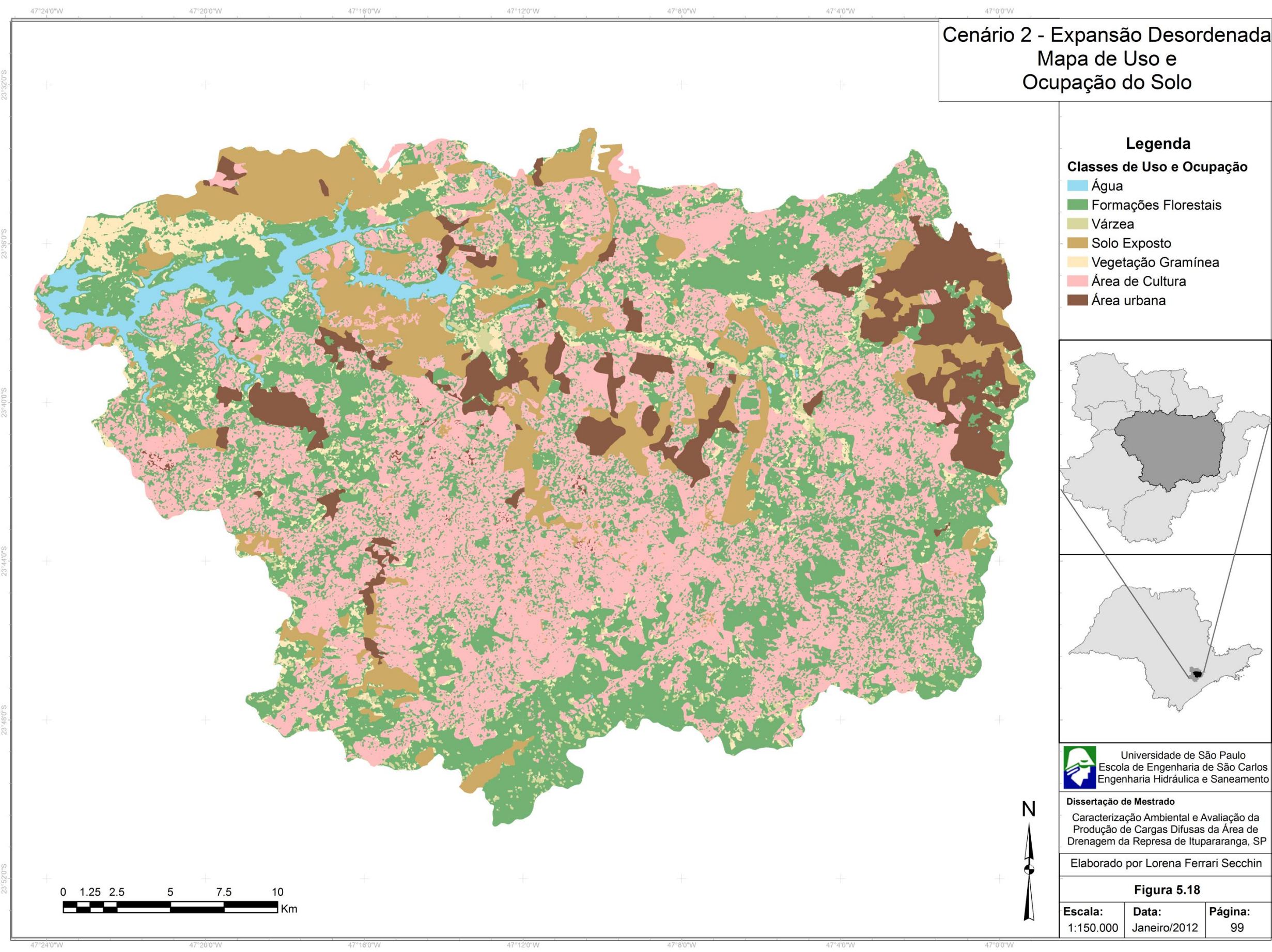
Dissertação de Mestrado
 Caracterização Ambiental e Avaliação da
 Produção de Cargas Difusas da Área de
 Drenagem da Represa de Itupararanga, SP
 Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.17

Escala: 1:150.000	Data: Janeiro/2012	Página: 97
-----------------------------	------------------------------	----------------------

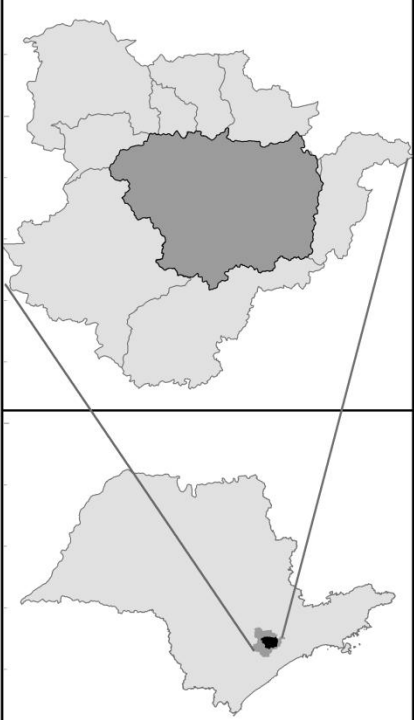
0 1.25 2.5 5 7.5 10 Km





**Cenário 2 - Expansão Desordenada
Mapa de Uso e
Ocupação do Solo**

- Legenda**
- Classes de Uso e Ocupação**
- Água
 - Formações Florestais
 - Várzea
 - Solo Exposto
 - Vegetação Gramínea
 - Área de Cultura
 - Área urbana



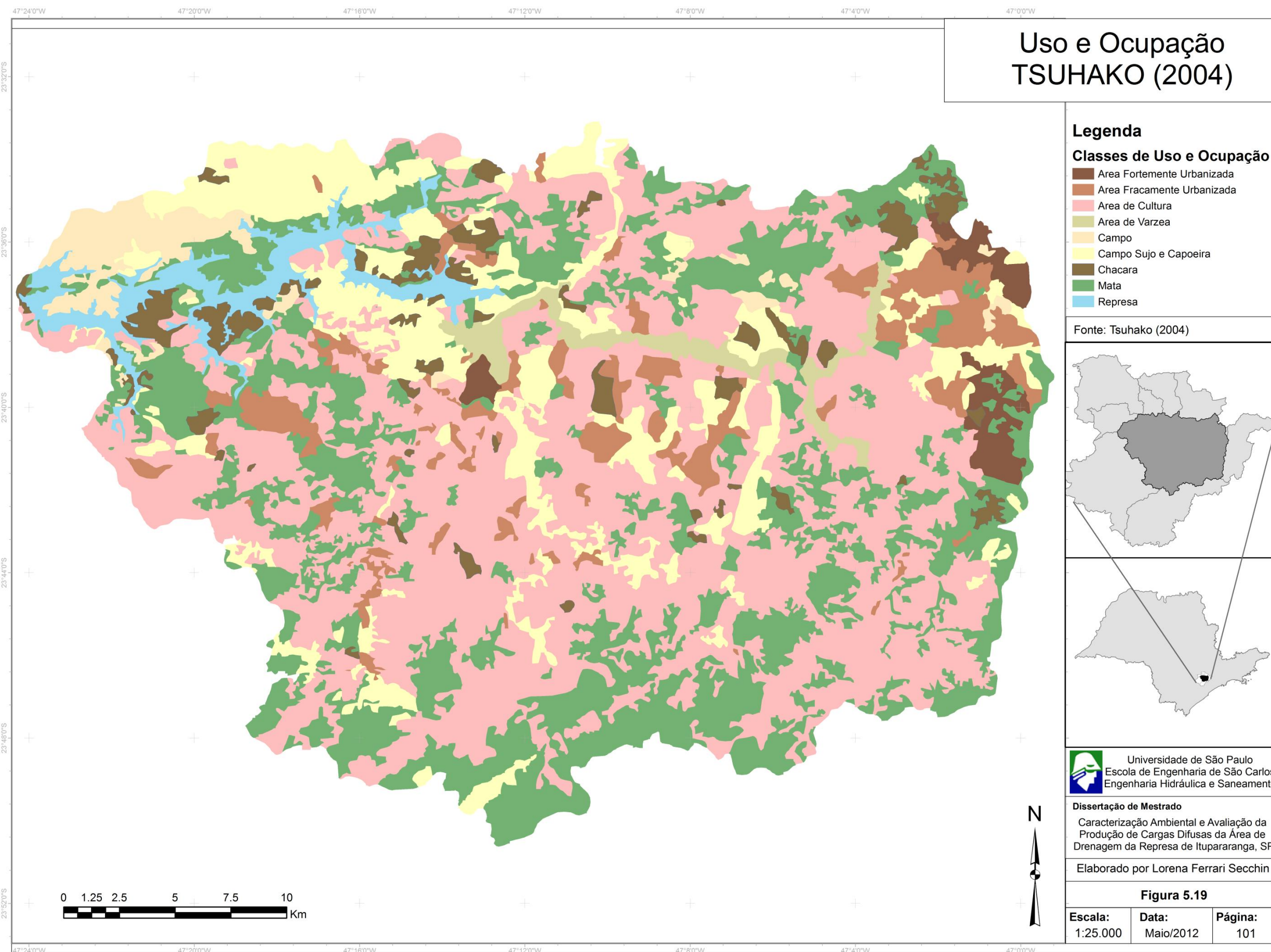
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Dissertação de Mestrado
Caracterização Ambiental e Avaliação da
Produção de Cargas Difusas da Área de
Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.18

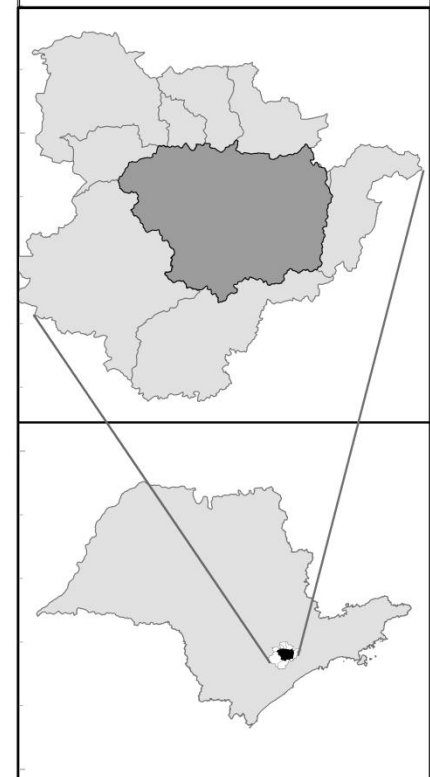
Escala: 1:150.000	Data: Janeiro/2012	Página: 99
-----------------------------	------------------------------	----------------------



Uso e Ocupação TSUHAÇO (2004)

- Legenda**
- Classes de Uso e Ocupação**
- Area Fortemente Urbanizada
 - Area Fracamente Urbanizada
 - Area de Cultura
 - Area de Varzea
 - Campo
 - Campo Sujo e Capoeira
 - Chacara
 - Mata
 - Represa

Fonte: Tsuhako (2004)



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Dissertação de Mestrado
Caracterização Ambiental e Avaliação da
Produção de Cargas Difusas da Área de
Drenagem da Represa de Itupararanga, SP

Elaborado por Lorena Ferrari Secchin

Figura 5.19

Escala: 1:25.000	Data: Maio/2012	Página: 101
----------------------------	---------------------------	-----------------------

Na comparação entre os dois cenários das Figuras 5.17 e 5.18 simulados na Figura 5.20 observou-se que nos cenários 1 e 2 os picos de vazões foram amenizadas e as vazões médias foram menores que a vazão do cenário original.

Este resultado foi controverso ao esperado por ser consensual que a consequência das alterações do uso do solo tende a elevar os picos de vazão, entretanto, ao analisar esses valores conjuntamente com a produção de sedimentos pode-se avaliar os impactos da adoção de práticas conservacionistas e da expansão desordenada.

Observou-se que no cenário onde foram aplicadas práticas conservacionistas, Cenário 1, a produção de sedimentos foi amenizada, enquanto para o Cenário 2 onde houve expansão desordenada, houve aumento significativo para esta variável, indicando a necessidade do reflorestamento e do cuidado com a expansão sem planejamento.

A perda de solo, além de provocar assoreamento dos cursos d'água, é prejudicial à agricultura pela diminuição de áreas cultiváveis, forçando a expansão sobre os recursos naturais. Modelagem que não reflete a realidade.

Ao comparar grosseiramente o mapa de Uso e Ocupação do Solo atual (Figura 5.3, página 57) com o mapa elaborado por Tsuhako (2004) da Figura 5.19, percebe-se principalmente uma expansão da área fortemente urbanizada, de 1,76 para 2,86%. No que diz respeito às outras classes, a relação é mais complexa de ser avaliada pelas diferenças de metodologia de obtenção dos mapas e de abrangência entre as classes.

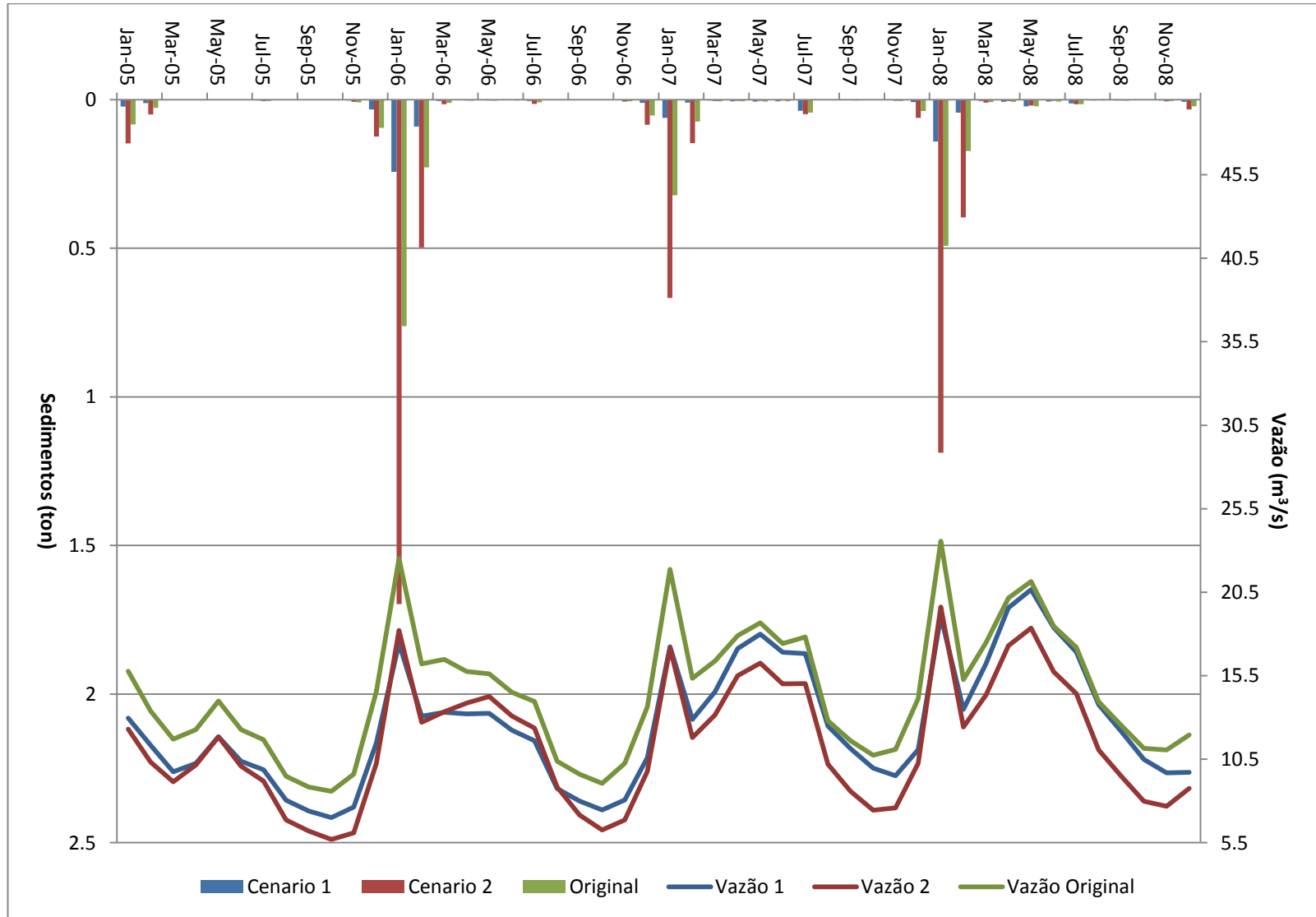


Figura 5.20 – Comparação dos Cenários

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a bacia em estudo é privilegiada por sua localização por estar sujeita somente a impactos internos, o que torna mais fácil a conciliação dos usos múltiplos dos recursos hídricos.

Por ser uma bacia de cabeceira, é necessária uma maior atenção às pressões exercidas sobre os recursos hídricos, em especial àqueles que se propagam através dos cursos d'água. A existência da APA pode amenizar esse problema, mas a gestão dessa unidade de conservação tem que ser efetiva e combinada aos planos diretores dos municípios que compõe a bacia.

Através do Mapa de Uso e Ocupação do Solo é perceptível que as áreas de cultura têm se expandido em supressão à vegetação nativa, o que pode acarretar conseqüências negativas para os recursos naturais da região.

Pelas sobreposições entre as classes no processo de classificação e pela rotatividade constante das culturas predominantes na região, seria necessário realizar um levantamento mais detalhado da área com imagens com resolução mais alta juntamente com campanhas de campo mais detalhadas.

A caracterização geral da bacia atualmente é considerada como um trabalho básico, entretanto a coleta de dados foi demorada e complicada pelos materiais consultados serem de difícil acesso e muitas das vezes muito antigos. Por isso, é necessário que trabalhos básicos, mas atuais, sejam desenvolvidos utilizando tecnologias avançadas para aprimorar e incrementar trabalhos futuros.

O modelo escolhido tem a capacidade de simular eventos em bacias não instrumentadas, entretanto pelo fato dele ter sido construído para situações dos solos e de manejo dos EUA, a instalação de parcelas experimentais com coletas contínuas de dados de campo é capaz de melhorar os resultados estatísticos da validação e explorar as potencialidades do modelo. Outra opção seria realizar os levantamentos detalhados dos dados de entrada na bacia em estudo, como os parâmetros de solos e as condições de uso e ocupação das classes existentes, atendendo os requisitos do programa, melhorando as estimativas resultantes da modelagem.

Cada programa computacional possui uma rotina de inserção de dados e interpretação dos resultados. Para o SWAT, essa rotina possui diversos detalhes nem sempre explícitos nos materiais de apoio do programa e que requerem um conhecimento prévio para que se foque nos ajustes dos parâmetros do modelo. Para isso, é necessário que tenha contato com pessoas que trabalham ou já trabalharam com todo o processo de modelagem ou mesmo, se possível realizar algum curso específico sobre o programa, a fim de explorar as potencialidades do modelo.

É necessário estudar previamente o hidrograma observado da área de estudo a fim se escolher períodos característicos da bacia e dessa forma facilitar a calibração das variáveis escolhidas.

A impossibilidade de ter acesso aos parâmetros operacionais e de construção do reservatório prejudicou a calibração por estes influenciarem diretamente na resposta hídrica da bacia às precipitações a montante.

Através da análise das vazões vertidas e turbinadas da série histórica fornecida pela operadora da barragem, percebeu-se que o reservatório não exerce a função de controlar cheias, pois, na maioria das vezes, toda a vazão afluyente é turbinada, relegando esse papel para as bacias a jusante.

O SWAT conseguiu um ajuste aceitável com a capacidade de refletir a realidade de campo após sucessivos ajustes dos parâmetros iniciais durante a calibração obtendo resultados de 0,41 e 0,0% de CNS e PBIAS na calibração, respectivamente, e de 0,301 e 5,5% na validação. Melhores ajustes podem ser obtidos a partir da inserção de detalhes de operação das áreas de cultura por verificações mais frequentes em campo.

Foram obtidos resultados para poluição difusa que indicam a necessidade uma atenção especial em trabalhos futuros, sendo que a abordagem preventiva para este tipo de poluição é primordial, pois a falta de monitoramento faz com que se perca a dimensão dos impactos causados. Pelas campanhas de campo percebeu-se a intensificação das atividades rurais margeando os cursos d'água e essas práticas podem incrementar significativamente o aporte de nutrientes e de matéria orgânica, interferindo na qualidade da água e nos diversos usos dos recursos hídricos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. 1976. *A land use and land cover classification system for use with remote sensing data*. Geological Survey Professional Paper. n. 964.
- ARMAS, E. D. *Biogeodinâmica de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar (Saccharum spp.) na sub-bacia do rio Corumbataí*. 2006. 187 f. Tese (Doutor em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, Temple, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.
- BALDISSERA, G. C. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. 2005. 148 f. Dissertação (Mestre em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.
- BONUMÁ, N. B. *Modelagem do Escoamento, da Produção de Sedimentos e da Transferência de Fósforo em Bacia Rural no sul do Brasil*. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). 2011.
- BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F. A.; CONCEIÇÃO, G. Utilização do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para estudos na microbacia hidrográfica do Rio Araranguá – SC. In: *Taller International Red Riegos Cytet*, 2008, Florianópolis. Anais... Florianópolis: CEER, 2008.
- BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens CCD/CBERS 2. *Caminhos de Geografia – revista online*. V.13, n.15, p.144-153. 2005. Disponível em: <www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> Acesso em: 15 set. 2010.
- CAETANO, M.; SANTOS, T.; GONÇALVES, L. Cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite: estado da arte. In: Encontro Nacional de Utilizadores de Informação Geográfica, 7, 2002, Oeiras. *Anais...* Lisboa: ESIG, 2002.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.php>>. Acesso em: 14 set. 2010.
- CAMPBELL, J. B. *Introduction to remote sensing*. New York, The Guilford Press, 1987. 551p.
- CARVALHO, M. S. PINA, M. F. SANTOS, S. M. Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde. Brasília: OPAS, 2000.
- CETESB (São Paulo). Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2009 [recurso eletrônico] / CETESB. - - São Paulo: CETESB, 2010. 310 p. : il. color. - - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)
- CHRISTOFOLETTI, A., 1974. *Geomorfologia*. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP.
- CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Bethesda, 54, 1669-1671, 1992.
- COSTA, H., A. ARAÚJO, H. CARRÃO, E M. CAETANO, 2008. Influência das características técnicas das imagens de satélite na produção de cartografia de ocupação do solo: estudo baseado em imagens MERIS e AWiFS, Actas do X Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG 2008), 14 - 16 Maio 2008, Oeiras, Portugal, suporte digital sem paginação.
- CROITORU, A. et al. The rational function model: a unified 2D and 3D spatial data generation scheme. In: ASPRS ANNUAL CONFERENCE, 70, 2004, Denver, Colorado. *Proceedings..* Denver: ASPRS, 2004.
- CROSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Ed. Rev. Campinas: IG/UNICAMP. 1993. 170p.
- DE VITO, M. (2007). *Avaliação do risco de contaminação de mananciais hídricos para o abastecimento: o caso da bacia da barragem do Descoberto*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM.104/2007, Departamento de Engenharia Civil

e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 181p DENT, D.; YOUNG, A. *Soil survey and land evaluation*. Londres: G. Allen e Unwin, 1981. 278p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. - Brasília : Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro Embrapa Solos, 1999. 412p. :il.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1)

FERRAZ, F.F.B. *Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do Rio Piracicaba*. 2002. 112 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear Aplicado à Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FONSECA, L. M. G. *Processamento Digital de Imagens*. INPE: jun. 2000.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Plano de Manejo da APA de Itupararanga. São Paulo, 2009

GODOY, A. M. HACKSPACHER, P. C. OLIVEIRA, M. A. F. ARAÚJO, L. M. B. Evolução Geológica dos Batólitos Granitóides Neoproterozóicos do Sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 2, p. 171-185, UNESP, São Paulo. 2010.

GODOY, M. C. T. F.. *Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente - SP*. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1989.

GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University, 1993. 488 p.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v.1, p.96-99, 1985.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010*.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Agrícola Municipal 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Catálogo de Imagens*. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em 13 ago. 2010.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000*. São Paulo: IPT, 1981. 2v. (Monografias, 5; Publicação, 1.183).

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000*. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. (Monografias, 6; Publicação, 1 184)

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO. Relatório Técnico nº 104.269-205 - Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10) - Revisão para Atendimento da Deliberação CRH 62. São Paulo, 2008. 352p.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório Técnico nº 80 401- 205. Atualização do relatório de situação dos recursos hídricos da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê (Relatório Zero) como subsídio à elaboração do Plano de Bacia. São Paulo, 2005. 420p.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 316 p.

KNISEL, W. G. 1980. CREAMS, a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. USDA Conservation Research Rept. No. 26.

LANDIS, J. R.; KOCH, G.G. *The measurement of observer agreement for categorical data*. *Biometrics*, Arlington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEONARD, R. A., KNISEL, W. G., STILL, D. A. 1987. GLEAMS: *Groundwater loading effects of agricultural management systems*. *Trans. ASAE*. 30:1403-1418.

- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. *Remote sensing and image interpretation*. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- LINO, J. F. L. Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2009. 150 p.
- LINS, M. P. E. FERREIRA FILHO, V. J M. Sistemas de Informações Geográficas e Modelagem em Pesquisa Operacional. *Revista Pesquisa Operacional*, 1997.
- LIU, W. T. H. *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. Campo Grande: E. UNIDERP, 2006. 908 p.
- LOPES, N. H. Y. *Análise da Produção de Água e Sedimentos em Microbacias Experimentais com o modelo SWAT*. 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2008. 164 p.
- MACHADO, R. E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2002. 154 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP) *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. vol.27, n.4. Viçosa. Julho/Agosto. 2003.
- MANSOR, M. T. C. Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP: [s.n.], 2005.
- MINOTI, R. T. Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi Superior/SP. 2006. 247 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and the environment. In: *The state and movement of water in living organisms, XIXth Simposio Soc. For Exp. Biol.*, Swansea, Cambridge University Press. 1965. p.205-234.
- MOREIRA, A. A. SOARES, V. P. GLERIANI, J. M. RIBEIRO, C. A. A. S. Utilização de algoritmos de Classificação para o Mapeamento de Uso e Cobertura de terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, a partir de uma imagem do Sensor IKONOS II. *XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física*, 2009.
- MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900. 2007
- MORO, M. A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários - Piracicaba, 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
- MOTTA, J. L. G. FONTANA, D. C. WEBER, E. Verificação da acurácia da estimativa de área cultivada com soja através de classificação digital em imagens Landsat - *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2001. Disponível em <<http://ecologia.ufrgs.br>> Acesso em 13 set. 2010
- NAKAZAWA, V. A. (coord). *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500.000*. São Paulo: IPT (IPT. Publicação 2089). 22p, 1994.
- NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10, 282–290.1970.
- NEITSCH, S.L., J.G. ARNOLD, J.R. KINIRY, J. R. SRINIVASAN, AND J.R. WILLIAMS. 2010. Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation, Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 365. College Station, TX: Texas A&M University System.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J.R. *Soil and water assessment tool – Theoretical Documentation: version 2009*. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2011. 647 p.

NEVES, F. F. Análise Prospectiva das Áreas de Risco à Erosão na Microbacia Hidrográfica do Rio Bonito (Descalvado - SP), Potencialmente Poluidoras por Dejetos de Granjas. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Florestal), Universidade de São Paulo (EESC), São Carlos, SP, 2005.

OLIVEIRA, J. B. (1999). Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Boletim Científico número 45. IAC, Campinas, 108 p.

OLIVEIRA, M. A. F.; GODOY, A.M.; HACKSPACKER, P.C.; MORALES, N. Geologia da Folha São Roque, SP - 1:50.000. *Geociências*, v. 17, n. 2, p. 123-134, 1998

PEDRAZZI, F. J. M. *Avaliação da Qualidade da Água do Reservatório de Itupararanga, Bacia do Alto Sorocaba (SP)*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Geologia Regional), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2009. 87p.

PONZONI, J. F.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro Kappa (K) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 8., 1996, Salvador. Anais... São José dos Campos: INPE; SELPER, 1996. p. 52-58

PRADO, F. A. *Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana - Presidente Prudente*, 2009. 168 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALUMÍNIO (PMA). *A Cidade de Alumínio*. Disponível em <<http://www.aluminio.sp.gov.br/pagina.asp?id=8>> Acesso em 10 de out. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MAIRINQUE (PMM). *O Município*. Disponível em <<http://piedade.sp.gov.br/capa.asp?IDPagina=596>> Acesso em 19 de out. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO ROQUE (PMSR). Revisão do Plano Diretor da Estância Turística De São Roque. 2005. 132 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VARGEM GRANDE PAULISTA (PMVGP). *Cidade - Dados*. Disponível em <http://www.vargemgrandepta.sp.gov.br/site/?page_id=36> Acesso em 19 de out. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VOTORANTIM (PMV). *O município*. Disponível em <http://www2.votorantim.sp.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=5> Acesso em 19 de out. 2011.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.*, v.100, p.81-92, 1972.

PRODANOFF, J. H. A. (2005). *Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 266 p.

RENNÓ, C. D. SOARES, J. V. *Modelos hidrológicos para gestão ambiental*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 60 p.

ROSA, R. BRITO, J. L. S. *Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica*. Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSA, R. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, 6ª.ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. T. (org). *Geomorfologia do Brasil*. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2001. 2 ed.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo – escala 1:500.000*. São Paulo, SP: FFLCH/USP e IPT/FAPESP, 1997.

SANTANA, D. P. *Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SÃO PAULO. Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo. *Área de Proteção Ambiental Itupararanga*. 2010. Disponível em: <<http://www.ffflorestal.sp.gov.br/hotsites/hotsite/sobre.php/>>. Acesso em: 12 set. 2010.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 10.100 de 1º de dezembro de 1998. Declara Área de Proteção Ambiental o entorno da represa de Itupararanga.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 11.579 de 2 de dezembro de 2003. Altera a Lei 10.100, de 1º de dezembro de 1998.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. 2005. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. RBRH. Volume 10, n.4. 13 p.

SILVA, V. A. AMORIM, R. R. FERREIRA, M. C. PEREZ FILHO, A. MOREAU, M. S. A utilização de técnicas de geoprocessamento para a modelagem de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do rio Colônia no litoral Sul da Bahia (Brasil). In: Seminário Latino Americano de Geografia Física, 6, Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2, 2010, Coimbra. *Actas...* Universidade de Coimbra, Maio de 2010. Disponível em: <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/vinicius>. Acesso em 26 set. 2010.

SIMÕES, C. A. MOURA, A. C. M. *Aplicações em Arc-View®* - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Disponível em <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento>> Acesso em 14 set. 2010.

SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE. Section 4: Hydrology In National Engineering Handbook. 1972.

SOKOLONSKI, H. H (coord.). *Manual técnico de uso da terra*. Rio de Janeiro: IBGE. 58p. Manuais Técnicos em Geociências. 1999.

SOUZA, R. M. SANTOS, I. KOBAYAMA, M. O MODELO SWAT COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: Avaliação das vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. In: *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2009, Campo Grande. 2009.

STEIN, A. *et al. Spatial statistics for remote sensing*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999.

TSUHAKO, E. M. Seleção de locais potenciais à implantação de aterros sanitários da sub-bacia de Itupararanga (Bacia do Rio Sorocaba e médio Tietê). 2004. 171 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4.ed. 1ª reimp. - Porto Alegre. Ed. UFRGS, ABRH, 2009. 943 p.

VIEIRA, C. A. O. *Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study*. 323 f. Thesis (Ph. D.) – University of Nottingham, Nottingham, 2000.

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

WILLIAMS, J. R. RENARD, K. G. DYKE, P. T. EPIC—a new model for assessing erosion's effect on soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*. 38 (5), 381–383. 1984.

WILLIAMS, J.R., NICKS, A. D. ARNOLD, J. G. Simulator for water resources in rural basins. *Journal of Hydraulic Engineering* (6): 970-986. 1985.

**Apêndice A - Série Histórica de Chuva e Vazão de saída
para a área de drenagem da Represa de Itupararanga de 1914
a 2010**

