



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI

Instituto de Recursos Naturais – IRN



Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos- MEMARH

Bióloga Tatiane Dias Maria Cavalcante

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E EROSÃO DO SOLO, EM BACIA
HIDROGRÁFICA DE MANANCIAL URBANO. ESTUDO DO CASO DO RIBEIRÃO
DO FEIJÃO, SÃO CARLOS - SP.**

UNIFEI
Itajubá/MG, 2013.

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais – IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos- MEMARH

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E EROSÃO DO SOLO, EM BACIA
HIDROGRÁFICA DE MANANCIAL URBANO. ESTUDO DO CASO DO RIBEIRÃO
DO FEIJÃO, SÃO CARLOS - SP.**

Tatiane Dias Maria Cavalcante

Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao curso de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, para obtenção de título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Planejamento de Bacias Hidrográficas

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Co-orientador: Prof(a) Dr.(a) Marcilene Dantas Ferreira

UNIFEI
Itajubá/MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Jacqueline Balducci- CRB_6/1698

C376a

Cavalcante, Tatiane Dias Maria

Área de preservação permanente e erosão do solo, em bacia hidrográfica de manancial urbano. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP / Tatiane Dias Maria Cavalcante. – Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.

91 p. il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas.

Coorientador: Profa. Dra. Marcilene Dantas Ferreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Áreas de preservação permanente. 2. Equação Universal de perda do solo. 3. Sistemas de Informação Geográfica. 4. Planejamento ambiental 5. Cenário. I. Dupas, Francisco Antônio, orient. II. Ferreira, Marcilene Dantas, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais – IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos- MEMARH

BIÓLOGA TATIANE DIAS MARIA CAVALCANTE

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E EROSÃO DO SOLO, EM
BACIA HIDROGRÁFICA DE MANANCIAL URBANO. ESTUDO DO CASO
DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS - SP.**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 28 de outubro de 2013, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas
Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva
Prof. (a) Nívea Adriana Dias Pons

UNIFEI
Itajubá/MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus,

a Quem sempre recorri nos momentos difíceis e Quem sempre me direcionou e fortaleceu.

À minha família,

que me apoiou e que me ensinou a não desistir dos meus ideais.

Meu marido Wagner,

que abdicou da sua vida em prol dos meus estudos a quem medicou carinho incondicional, meu amor eterno.

Ao professor Dr. Francisco Antônio Dupas,

pela excelente orientação, e pelos puxões de orelha que me fizeram crescer. Pela amizade que nunca esquecerei.

Aos professores da UNIFEI,

em especial a Nívea Adriana Dias Pons, Marcos Bernandes, Ana Lúcia Fonseca pelos ensinamentos e motivação.

Aos mestres,

Fernanda Luz, Carlos Wilmer, Rogério Coli, Fernanda Paes, pelo carinho e partilha e ensinamentos.

Aos amigos do MEMARH,

em especial ao Álvaro Cesar, Tamara Fernandes, Leandro e Carla, Nancy Rios e Maria Cláudia.

Aos amigos do trabalho,

sempre acompanharam minha luta.

Aos meus alunos,

para todos os meus alunos, que muitas vezes foram meus confidentes das dificuldades.

A Ana Paiva,

Pela revisão ortográfica, sobretudo o carinho.

A SEE- MG,

Secretaria de Estado de Educação, pela licença a mim conferida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta construção.

RESUMO

CAVALCANTE, TATIANE DIAS MARIA. “Área de Preservação Permanente e Erosão do Solo em Bacia Hidrográfica de Manancial Urbano. Estudo do caso do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.”, 2013. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos), NEPA, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG.

O presente trabalho fundamenta-se na criação de diversos cenários atuais e preditivos, visando o planejamento e a gestão territorial de bacia hidrográfica, além de comparar o zoneamento de vulnerabilidade ambiental com base nos índices de dissecação de relevo. Os cenários foram implementados, através da aplicação do modelo empírico EUPS, em ambiente do SIG *Idrisi Andes*, tendo como área de estudo o ribeirão do Feijão, na cidade de São Carlos-SP. Para tal, foi constituído um banco de dados que subsidia as variáveis da EUPS e, também, a delimitação das APPs sobre uso e cobertura do solo, no ano de 2006. Com respaldo da legislação pertinente, os cenários simulados mostraram que a recuperação das APPs constitui-se em medida essencial à conservação dos solos e dos recursos hídricos, na bacia em estudo. Dentre alguns cenários, conclui-se que a expectativa de perda do solo foi de 29% em $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, de forma muito severa e extremamente severa, o que mostra que mais de um quarto da área está sob risco de erosão, acima do que deveria, o que evidencia a importância das APPs na manutenção da qualidade ambiental da bacia. Quanto à comparação do zoneamento de vulnerabilidade do meio ambiente (Modelo estipulado por ROSS,1994) e à expectativa de perda de solo(pela EUPS), percebe-se a equivalência entre as áreas de fragilidade ambiental. Quando analisada a área, constata-se que as áreas de maior risco são as áreas de solo exposto, culturas de laranja e pela cana-de-açúcar. Os resultados obtidos indicam que, quando tais áreas encontram-se devidamente vegetadas, estas cumprem com a sua função de atenuação da erosão; e os cenários simulados mostraram que a recuperação das APPs, a utilização de práticas conservacionistas e a recuperação de áreas degradadas constituem em medidas essenciais à conservação dos solos e dos recursos hídricos.

Palavra-chave: Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental. Índices de Dissecação de Relevo. Cenários. Equação Universal de Perda de Solo. Sistemas de Informação Geográfica. Áreas de Preservação Permanente. Práticas Conservacionistas. Áreas degradadas.

ABSTRACT

CAVALCANTE, TATIANE MARIA DIAS. " Permanent Preservation Areas and Soil Erosion in Urban Watershed Fountainhead. Case Study of the stream Bean, São Carlos, SP. ", 2013. Dissertation (MSc in Environment and Water Resources), NEPA, Federal University of Itajubá, Itajubá / MG.

This work is based on creating different scenarios current and predictive, aiming planning and territorial management of watershed and to compare the zoning of environmental vulnerability indices based on the dissection of relief. The scenarios were implemented through the application of the empirical model USLE in GIS environment Idrisi Andes, whose study area the stream Bean, in the city of São Carlos-SP. To this end, we created a database that subsidizes the USLE variables and also the delimitation of APPs on use and land cover, in 2006. With support of the legislation, the simulated scenarios showed that the recovery of APP is essential step in the conservation of soil and water resources in the basin under study. Among some scenarios, it is concluded that the expectation of soil loss was 29% in $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, very severe and extremely severe, which shows that over a quarter of the area is at risk erosion, above what it should, which highlights the importance of APP in maintaining the environmental quality of the basin. Comparison of the zoning of vulnerability of the environment (Model stipulated by ROSS, 1994) and the expected soil loss (by USLE), realizes the equivalence between the areas of environmental fragility. When analyzed area, it appears that the higher risk areas are areas of exposed soil, crops and orange for cane sugar. The results indicate that when such areas are properly vegetated, they meet with their attenuation function of erosion, and the simulated scenarios showed that the recovery of the PPAs, the use of conservation practices and reclamation measures are in essential to the conservation of soil and water resources.

Keyword: Zoning Environmental Vulnerability. Scores Dissection of relief. Scenarios. Equation Universal Soil Loss. Geographic Information Systems. Permanent Preservation Areas. Conservation Practices. Degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Alguns tipos de erosão fluvial	18
Figura 2- Distribuição de sensibilidade de erosão do solo	23
Figura 3 - Distribuição das variações da erosão do solo pela água	25
Figura 4 -Zoneamento de vulnerabilidade ambiental	26
Figura 5 -Localização da bacia hidrográfica em estudo	27
Figura 6 - Precipitação pluviométrica em milímetro do ano de 2012	28
Figura 7 - Captação da água no Ribeirão do Feijão para o abastecimento urbano.....	29
Figura 8 - Localização de poços artesianos em São Carlos	29
Figura 9 - Seção geológica da região de São Carlos.	31
Figura 10 - As cuestas da área em estudo.....	31
Figura 11 - Áreas de recargas do aquífero.....	32
Figura 12 - Esquema geral da metodologia utilizada.	34
Figura 13 - Mapa Pedológico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão.....	41
Figura 14 - Fator LS para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.....	43
Figura 15 - Fotos da área em estudo, representando os tipos de cobertura do solo.	45
Figura 16 – Cobertura do Solo na bacia hidrográfica.....	46
Figura 17 - Cenário 1: PNE – Potencial Natural de Erosão	48
Figura 18 - Cenário 2- EPS com uso e cobertura atual	51
Figura 19 - Cenário 3: EPS com uso e cobertura atual, considerando APPs ao longo dos cursos d'água e nascentes preservadas	52
Figura 20 - EPS com o uso e cobertura atual, considerando APPs em declives superiores a 45° preservadas.	53
Figura 21 - EPS com uso e cobertura atual, considerando todas as APPs de fundo de vale....	54
Figura 22 - EPS com uso e cobertura atual, considerando a mata primária.....	56
Figura 23 - EPS considerando a recuperação das áreas críticas.	57
Figura 24 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS e Uso e Cobertura Atual.....	61
Figura 25 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS e Uso e Cobertura Atual.....	62
Figura 26 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS e Uso e Cobertura Atual.....	63
Figura 27 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS e Uso e Cobertura Atual.....	64
Figura 28 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS da EUPS e Uso e Cobertura Atual, detalhada.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos materiais utilizados.....	33
Tabela 2- Descrição dos cenários simulados no estudo.....	39
Tabela 3 - Classes interpretativas de erosividade da chuva.....	40
Tabela 4 - Valores médios de K para os 8 tipos de solo da bacia.	42
Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade dos solos	42
Tabela 6 - Classes interpretativas do fator LS	44
Tabela 7 - Fator C para as diferentes coberturas do solo	45
Tabela 8 - Classes interpretativas de perda natural de solo.....	49
Tabela 9 - Classes interpretativas de perda de solo	49
Tabela 10 - Resultado para os setes cenários.....	58
Tabela 11 - Porcentagem das classes da maior perda incidente em cada uma das variáveis utilizadas.....	59

LISTA DE SIGLAS

ALOS - Advanced Land Observing Satellite
APA - Área de Proteção Ambiental
AVNIR - Advanced Visible and Near Infrared Radiometer
APP - Área de Preservação Permanente
APREM - Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais
BHRF - Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
EPS - Expectativa de perda de solo
ETA- Estação de Tratamento de Água
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
EUPS - Equação Universal de Perda de Solo
GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
IAC - Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRN- Instituto de Recursos Naturais
MDT - Modelo Digital do Terreno
NEPA - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática
NUMMARH - Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos
PNE - Potencial Natural de Erosão
RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural
RNA - Rede Neural Artificial
SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SIG - Sistema de Informação Geográfica
UFV - Universidade Federal de Viçosa
UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá
USLE - Universal Soil Loss Equation
UTM - Universal Transversa de Mercator
SAG - Sistema Aquífero Guarani
SEE - Secretaria de Estado de Educação

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SIGLAS	10
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Uso e Cobertura do Solo	16
3.3. Expectativa de Perda do Solo	18
3.4. Simulação de Cenários de Fragilidade Ambiental e Geoprocessamento.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1. Caracterização da área de estudo	27
4.1.1. Geologia	30
4.1.2. Aquífero Guarani.....	32
4.1.3. Pedologia.....	33
4.2. Materiais	33
4.3. Métodos	34
4.3.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.....	37
4.3.3. Simulação dos cenários de EPS	38
5. RESULTADOS E ANÁLISES	40
5.1. Obtenção dos fatores da EUPS	40
5.1.1. Fator R – Erosividade da Chuva	40
5.1.2. Fator K – Erodibilidade de solo	40
5.1.3. Fator LS – Topográfico	42
5.1.4. Fatores CP – Cobertura e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas	44
5.2. Cenários de Expectativa de Perda de Solo.....	47
5.2.1. EPS com a cobertura atual	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	68
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXO I.....	77

ANEXO II	83
Fundamentação Legal.....	83
1- Legislação Federal	83
2- Resoluções do CONAMA 302, 303 e 369.....	84
3- Legislação Estadual	85
4- Legislação Municipal.....	89

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A bacia hidrográfica é uma área na qual ocorre a captação de água para um rio principal e seus afluentes, devido às suas características geográficas e topográficas. Cada bacia hidrográfica possui características próprias, o que leva a individualizar e ordenar seu manejo em função de suas particularidades e identidade. Os mananciais são fontes de onde se retira a água para abastecimento e consumo da população, pois há necessidade em conservá-los em ótimo estado de utilização.

O planejamento é um conjunto de ações que visam atingir um objetivo. O planejamento de bacias hidrográficas implica várias ações integradas com intuito de utilizar, preservar, recuperar e conservar uma determinada bacia hidrográfica, que é a unidade básica de qualquer planejamento ambiental, fundamental para garantir os cenários ecossistêmicos.

A perda acelerada de solo constitui um dos maiores problemas ambientais do planeta. Suas consequências abrangem, desde a perda da camada fértil do solo até a completa descaracterização na bacia hidrográfica, tanto física quanto biológica, afetando as espécies que o habitam, causando riscos socioambientais e desutilizando-o economicamente.

O planejamento por meio de cenários, através de simulação em bacias hidrográficas, associado ao uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), orienta o gestor ambiental para as contingências do futuro, para que possam agir com conhecimento do risco, produzir estratégias robustas e criar vantagens competitivas distintas. Aceitar que decidir é posicionar-se em relação ao futuro é a base racional para trabalhar com antecedência. Portanto, criar cenários não significa conhecer o futuro, mas antecipar suas principais alternativas e simular a inserção da organização em diferentes ambientes. Simulação de variados tipos de cenários oferecem o zoneamento.

Os resultados permitirão identificar qual cenário tem participação mais significativa na minimização da perda de solo decorrente das diversas atividades antrópicas, desenvolvidas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, sendo um manancial urbano de São Carlos, subsidiando o planejamento de uso do solo, frente ao que determinam a legislação federal, estadual e municipal vigentes.

Este trabalho justifica-se devido às pressões sofridas no manancial, através de atividades relacionadas ao crescimento urbano, a não utilização de práticas adequadas de uso e manejo do solo, comprometendo a quantidade e a qualidade de água superficial e

subterrânea. Neste trabalho também foram simulados cenários comparativos entre modelos de zoneamento para determinação da fragilidade ambiental. Foram utilizados a EUPS e o modelo proposto por Ross (1994) para analisar a perda de solo como zoneamento da fragilidade ambiental. No ANEXO I, além de outros projetos de apoio ao tema, é mostrada a estrutura dos trabalhos já desenvolvidos desde 1997 e em desenvolvimento, relacionados ao tema planejamento de bacias hidrográficas, dentro do manancial do Ribeirão do Feijão (São Carlos, SP).

2. OBJETIVOS

Este trabalho parte da hipótese do importante papel das áreas de proteção permanentes (APPs) como atenuadoras de perda de solo.

2.1. Objetivo geral

Avaliar o papel das APPs como atenuadoras da erosão, através da predição da perda de solo. Serão utilizados diferentes cenários de integridade que resultam em zoneamento que buscam entender e minimizar os impactos provocados pelas ações antrópicas.

2.2. Objetivos específicos

- 1) Estudo da aplicação dos instrumentos de gestão em bacias hidrográficas;
- 2) Determinação das Áreas de Preservação Permanente na BHRF, conforme as normas estabelecidas pelas legislações vigentes;
- 3) Aplicação do modelo de perda de solo EUPS para diferentes cenários de integridade das APPs, na área de estudo. Os cenários realizados serão Potencial Natural de Erosão; Expectativa à perda do solo com o uso e cobertura atual; Expectativa à perda de solo com o uso e cobertura atual, considerando as APPs ao longo dos cursos d'água e nascentes preservadas; Expectativa à perda de solo com o uso e cobertura atual, considerando as APPs em declives superiores a 45° preservadas; Expectativa à perda de solo com todas as APPs preservadas; Expectativa à perda de solo com toda a área ocupada com matas primárias e a determinação do ponto crítico com o uso e cobertura atual da bacia hidrográfica em estudo;
- 4) Determinação dos fatores que influenciam na estimativa da perda de solo para a aplicação da EUPS;
- 5) Análise comparativa do zoneamento de vulnerabilidade ambiental com o apoio nos índices de dissecação de relevo, com a EPS com o uso e cobertura atual, a fim de entender e também verificar se a EUPS permite ser utilizada como indicador de fragilidade ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura para o conteúdo abordado pelo presente trabalho.

3.1. Uso e Cobertura do Solo

O uso do solo designa qualquer forma de ocupação do solo, tanto pela cobertura vegetal natural, quanto pelas diversas atividades humanas como: áreas urbanas, atividades agropecuárias, mineradoras, industriais e extrativistas (CHEPAK, 2008).

Segundo Silva (2009), o solo pode ser definido como um recurso de grande importância, pois esse elemento natural é responsável pela sustentação alimentar da população mundial. Embora seja um recurso vital, assim como a água, o solo é explorado até a sua exaustão em algumas regiões pelo mundo.

Para Prado (2009), o termo “cobertura da terra” refere-se à cobertura (bio)física observada sobre a superfície terrestre, isto é, aquilo que se pode extrair diretamente de imagens orbitais ou fotografias aéreas. Essa definição é fundamental, visto que, em muitas classificações e legendas existentes, nota-se uma confusão com a denominação “uso da terra”, que pode ser caracterizada pelas atividades desenvolvidas pelas pessoas que ocupam um tipo de cobertura da terra específico e interagem para mantê-lo ou modificá-lo (DI GREGÓRIO, 2004). Assim, por exemplo, as áreas de recreação existentes nas cidades são usos da terra que podem ser aplicados a diferentes tipos de cobertura da terra, desde áreas verdes até áreas construídas.

Prado (2009) também coloca que é importante destacar que o termo “terra” é definido no sentido de terra arável, o mesmo que solo agriculturável ou solo e que, em alguns casos, os termos “terra” e “solo” não são considerados sinônimos.

Segundo Wild (1993, apud Guerra e Cunha, 2003), “o solo é um dos recursos que o homem utiliza, sem se preocupar com o período necessário para sua recuperação, acreditando que vá durar para sempre; quando investe no solo, é para obter maiores colheitas, raramente para conservá-lo”.

A consciência das relações entre o uso do solo e biodiversidade é fundamental para a compreensão das ligações entre as pessoas e seu meio ambiente. A mudança do uso do solo e as transformações na forma de gerenciar o solo são fatores-chave de mudanças na biodiversidade em escala global, nacional e local (HAINES-YOUNG, 2009).

3.2. A importância da Vegetação

A cobertura florestal em áreas definidas como APPs constitui-se em elemento de extrema importância na manutenção da qualidade ambiental, desempenhando diversas funções socioambientais, entre elas: a dissipação da energia do escoamento superficial, a proteção das margens dos cursos d'água, a estabilização de encostas, a proteção de nascentes, o impedimento do assoreamento de corpos d'água e o abastecimento do lençol freático.

Em encostas acentuadas, a vegetação promove a estabilidade do solo pelo emaranhado de raízes das plantas, evitando sua perda por erosão e protegendo as partes mais baixas do terreno, principalmente os cursos d'água. Dessa forma, evita ou estabiliza os processos erosivos, atua como quebra-ventos nas áreas de cultivo e impede o processo de assoreamento (MACHADO *et al.*, 2009).

O tipo e a densidade da cobertura vegetal têm influência direta na vulnerabilidade dos solos ao desenvolvimento de processos erosivos. Em áreas menos protegidas, como em campos, pastagens e áreas agrícolas, a energia cinética da chuva aumenta, tornando a erosão superficial laminar mais intensa, proporcionando a remoção e transporte de sedimentos dos solos (SILVA, 2009).

Neste contexto, as matas ciliares assumem grande importância, pois regulam o fluxo hídrico, atuando como filtros naturais que evitam a entrada de sedimentos e poluentes nos cursos d'água, além de proteger o solo contra a ocorrência de processos erosivos, em regiões cuja topografia apresenta-se acidentada (SILVA, 2009).

Da mesma forma, a proteção das áreas de recarga, incluindo-se as APPs situadas em encostas com declives superiores a 45° e o terço superior dos morros, montanhas e linhas de cumeada, asseguram a maior infiltração de água no solo, reduzindo a fragilidade quanto à ocorrência de processos erosivos e proporcionando um maior abastecimento do lençol subterrâneo (SANTOS, 2007).

A vegetação atua como um amortecedor de energia cinética de gota da chuva, evitando o seu impacto direto sobre o solo e, conseqüentemente, o selamento superficial. Assim, permite que o solo permaneça poroso e capaz de absorver a água das chuvas, alimentando os lençóis freáticos e evitando que o escoamento superficial excessivo da água carregue partículas de solo e resíduos tóxicos provenientes das atividades agrícolas para o leito dos cursos d'água, poluindo-os e assoreando-os (PAES *et al.*, 2010).

Paes *et al.* (2010) descrevem a importância conjunta da cobertura vegetal, das áreas de APPs e do manejo do solo para a atenuação dos processos erosivos hídricos decorrentes do uso do solo para fins agrícolas. Importância deve ser dada ao planejamento do uso da terra, através da aplicação de práticas conservacionistas.

3.3. Expectativa de Perda do Solo

Erosão, como demonstra na Figura 1, é um processo de deslocamento do solo e das rochas e seu transporte, em geral feito pela água da chuva, pelo vento ou, ainda, pela ação do gelo, quando expande o material no qual se infiltra a água congelada. A erosão destrói as estruturas (areias, argilas, óxidos e húmus) que compõem o solo. Estes são transportados para as partes mais baixas dos relevos e, em geral, vão assorear cursos d'água (GUERRA & CUNHA, 2003).

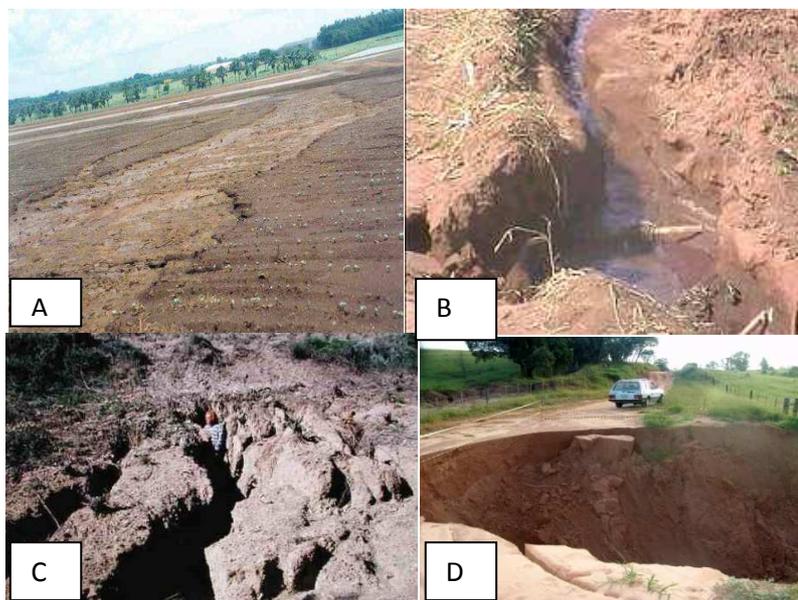


Figura 1- Alguns tipos de erosão fluvial (A-Laminar, B- Sulco, C- Ravinas e D-voçoroca)

Fonte: EMBRAPA, 2013.

A erosão é, muitas vezes, percebida como um processo no qual as partículas do solo são destacadas a partir de dentro da superfície de uma matriz de solo e a coesão subsequentemente deslocada por um ou mais agentes de transporte (KINNELL, 2010).

Dentre as modalidades de erosão, a laminar é um processo iniciado pelo impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, que desagregam as partículas e estas, conforme o tamanho, são facilmente transportadas pelo escoamento superficial (FARINASSO, 2006).

Esse tipo de erosão ocorre de forma frequente em áreas agrícolas, durante o período de preparo do solo e plantio, onde, geralmente, o solo se encontra desprovido de cobertura vegetal. São perdidos, no Brasil, cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente, correspondendo ao desgaste de 15 cm de espessura numa área de 280.000 hectares (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Erosão acelerada do solo é uma das preocupações em todo o mundo, geralmente é considerada como uma das principais causas da degradação do solo (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011).

Problemas de erosão hídrica afetam seriamente áreas agrícolas e deixam terras degradadas em todo o mundo. As consequências potenciais levantam questões importantes, como a segurança alimentar global e a perda da capacidade dos reservatórios para irrigação e produção (WCD, 2000; KRASA *et al.*, 2010; JEBARI *et al.*, 2012).

Cientistas apontam que se persistirem as atuais taxas de erosão, em longo prazo, países subdesenvolvidos que já apresentam riscos de segurança alimentar tenderão a tornar este problema ainda mais crônico (SILVA, 2009).

As formas de erosão que ocorrem nas bacias hidrográficas são consideradas um dos problemas mais sérios da atualidade, influenciando a produção agrícola, devido ao consequente empobrecimento do solo e ao abastecimento de água, acarretando a diminuição de sua disponibilidade nos reservatórios, devido ao assoreamento (VALLE JÚNIOR *et al.*, 2010).

Estimativa exata da erosão do solo causada pela chuva é muito importante em vários contextos ambientais, tais como a avaliação de perda de solo potencial de terras cultivadas e a avaliação da perda de capacidade de armazenamento de água nos reservatórios, devido à deposição de sedimentos (AMORE *et al.*, 2004).

Altas taxas de perda de solo indicam que a gestão do uso do solo não foi feita apropriadamente, nos locais onde são encontradas. Esse tipo de identificação só é possível devido a uma ferramenta computacional para dinâmica espacial (BESKOW *et al.*, 2009).

Existe, ainda, necessidade de desenvolvimento de técnicas eficientes e baratas para estimativas das condições dos solos. Essa demanda está relacionada com a produção de trabalhos de qualidade realizados a baixos custos de pesquisa e resultados em monitoramento e modelagem de risco e avaliação (STAVI & LAL, 2011).

As estimativas indicam que a erosão do solo tem ocorrido a uma média taxa de 16,35 t ha⁻¹yr⁻¹, totalizando uma perda anual de 5.334 milhões de toneladas (MACHADO, 2009).

A magnitude da erosão do solo depende, em grande parte, da fisiografia vegetativa, gradiente de cobertura, inclinação e inerentes propriedades físicas e químicas dos solos (LOPES-VICENTE *et al.*, 2011).

Em estudos feitos por Lesschen *et al.* (2007), confirmou-se a suposição de que solos expostos geram mais erosão em comparação com campos cultivados. Isto pode ser explicado pelo rápido escoamento em solo exposto e capacidade de armazenamento reduzida da superfície.

O solo é a base para cada sistema de produção e mais de 90% da produção mundial de alimentos depende do solo; o completo conhecimento de sua distribuição espacial é um pré-requisito no desenvolvimento de planos de uso racional do solo, nos diferentes níveis. Inventário dos recursos do solo fornece informações sobre as potencialidades e limitações dos solos para a sua utilização otimizada (MACHADO, 2009).

Também, o processo de perda de solo traz prejuízo financeiro ao produtor, junto ao solo extraído, há também a perda de nutrientes, o que compromete a produção e a qualidade, sendo que as plantas podem ter carência de alguns elementos nutritivos. Com a remoção da camada superficial, ocorrem problemas de infiltração e retenção de umidade no solo, tornando o subsolo mais impermeável e de menor teor de matéria orgânica. Assim, a água não infiltrando, promoverá maior arraste de solo e, conseqüentemente, menor quantidade de água será armazenada para as plantas (MACHADO, 2009).

Por isso, são aplicados modelos matemáticos para avaliar a perda de solo por erosão, os quais constituem em instrumentos importantes para direcionamento das práticas conservacionistas a serem empregadas em determinada área. A aplicação desses modelos matemáticos para previsão dos processos erosivos depende do entendimento de diferentes

fatores que envolvem o fenômeno. As primeiras técnicas empregadas para avaliar as taxas de perda de solo por erosão utilizavam procedimentos analógicos para obterem dados aplicados na equação. Coletores apropriados, colocados em locais adequados, eram usados na retenção de sedimentos para determinação dos parâmetros da equação (TEIXEIRA & SILVA, 2009).

Para Dutra *et al.* (1997), as equações preditivas de perda de solo e produção de sedimentos, incorporadas em modelos, procuram basicamente tentar reproduzir a realidade do sistema natural, envolvendo os principais fatores condicionantes desses processos. Devido à complexidade dos fenômenos, simplificações são bastante utilizadas, em diferentes níveis, para possibilitar a aplicação prática dessas equações, dentro de determinados limites. Reconhece-se a possibilidade da utilização de diversos modelos preditivos de perda de solo e transporte de sedimentos. Contudo, ressalta-se a importância do conhecimento das limitações impostas a cada modelo, especificamente, diante da escolha do mais apropriado e adaptável às situações ambientais da área objeto do presente estudo, e da necessidade de determinações apuradas dos fatores integrantes do modelo.

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Data Soil Loss Center* pela *Agricultural Research Service* em colaboração com a Universidade de *Purdue (EUA)* e posteriormente revisada por Wischmeier & Smith (1978), sendo esta última a mais difundida (PAES *et al.*, 2010).

A EUPS foi utilizada, primariamente, para predição de erosão em trechos de declives não muito acentuados e uniformes. Wischmeier & Smith (1978) foram os primeiros a desenvolver um procedimento para o cálculo da perda de solo em declives caracterizados como mais complexos. Eles dividiram declives irregulares em um número limitado de segmentos uniformes. Dessa forma, foram capazes de levar em consideração o formato do declive. Foster & Wischmeier (1994) continuaram esses estudos para declives irregulares, atribuindo peso para os trechos do declive, conforme este fosse convexo ou côncavo (RANZI *et al.*, 2012).

A EUPS estima as perdas de solo por erosão laminar, através da multiplicação de seis fatores intrínsecos às características climáticas, propriedades do solo, paisagem do terreno, cobertura vegetal com manejo agrícola e práticas conservacionistas, representado na equação:

(1) $A = R.K.L.S.C.P$, onde:

- A é a estimativa média anual de perda de solo ($t.(ha.ano)^{-1}$);
- R é o fator erosividade das chuvas ($MJ.mm. (ha. h)^{-1}$);

- K é o fator erodibilidade do solo (t.h. (MJ.mm)⁻¹);
- L é o comprimento da rampa (m);
- S é a declividade da Rampa (%);
- C é o fator de cobertura, uso/manejo (adimensional);
- P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978) tem por objetivo prever a erosão, em t.ha⁻¹ano⁻¹, que poderá ocorrer em determinada área agrícola, de forma que a magnitude da perda de solo fique situada dentro dos limites toleráveis. Essa equação relaciona, de forma combinada, todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, quais sejam: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau do declive (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas de suporte (P). Dentre os fatores, destaca-se a erosividade da chuva (fator R da EUPS), que denota o potencial da chuva e enxurrada associada em causar erosão do solo, sendo determinada pelo produto da energia cinética total da chuva com sua intensidade máxima, em trinta minutos. Dessa forma, sua utilização é de fundamental importância para o estabelecimento do uso e manejo corretos do solo e, conseqüentemente, para a seleção das práticas conservacionistas de maior eficácia na redução da erosão hídrica (PAES *et al.*, 2010).

A EUPS é a equação de predição mais usada e abusada no mundo. Embora tenha sido projetada para prever, em longo prazo, perda de solo médio anual, que tem a capacidade de prever evento de perda de solo, razoavelmente bem, em algumas áreas geográficas, e não muito bem em outras. Sua falta de capacidade de prever a erosão evento é altamente influenciada pelo fato de precipitação-escoamento, utilizado na USLE 2D e não considera explicitamente o escoamento (KINELL, 2010).

No Brasil, adequações de alguns fatores às condições climáticas e culturais foram propostas por alguns pesquisadores (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990) ao modelo de Wischmeier & Smith (1978).

Cândido e Santos (2009), em seus estudos, realizaram o mapeamento do potencial de erosão do solo. Para estimar essa perda de solo, utilizou a EUPS, onde os elementos foram calculados com ajuda dos mapas. Os resultados possibilitaram analisar que os terrenos com maior declividade apresentam maiores velocidades de escoamento superficial propiciando, assim, uma maior capacidade erosiva. Esses locais com alta declividade, combinados com

solos de alta erodibilidade e com chuvas com forte potencial de erosividade, são fortes condicionantes para o surgimento de processos erosivos na bacia do rio Manso (PAES *et al.*, 2010).

A EUPS pode ser utilizada para determinar diferentes níveis de sensibilidade à erosão do solo e sua distribuição espacial, em uma área montanhosa, como representado na Figura 2 a região de Tongbai-Dabie – China.

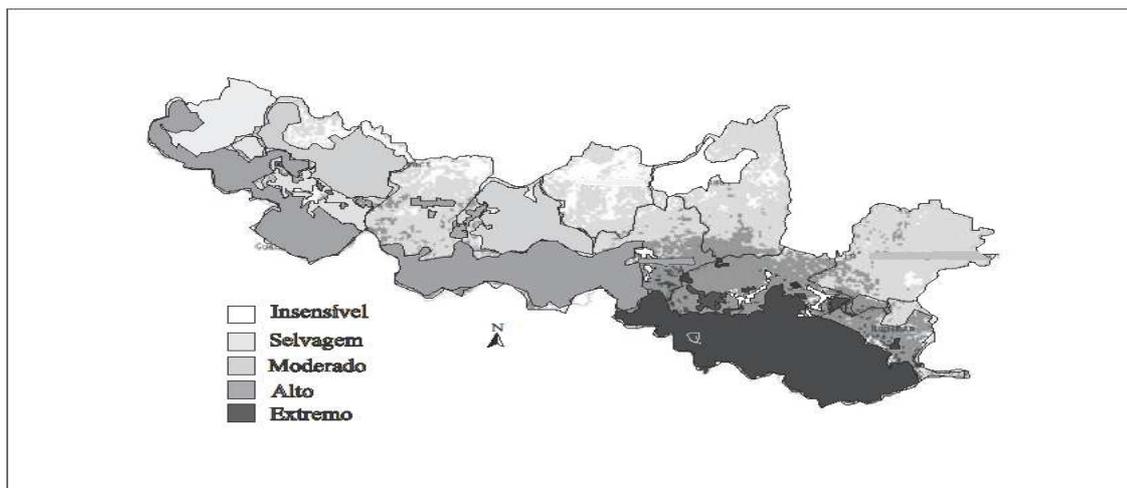


Figura 2- Distribuição de sensibilidade de erosão do solo (ZHANG *et al.*,2013).

Imagens de sensoriamento remoto fornecem informações sobre vários tipos de terreno, utilização em formato espacial que é vital para a avaliação de erosão. A utilidade potencial de dados de sensoriamento remoto tem sido bem reconhecida no mapeamento e avaliação de atributos do solo como a fisiografia, solos, cobertura de uso da terra.

3.4. Simulação de Cenários de Fragilidade Ambiental e Geoprocessamento

O geoprocessamento de dados é um conjunto de técnicas matemáticas e cartográficas computacionais para o tratamento da informação geográfica, tendo por objetivo fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de determinados fenômenos geográficos, assim como as interações entre estes (EASTMAN, 1998).

Nesse contexto, o geoprocessamento permite uma visão integrada, apoiando a representação e compreensão das inter-relações espaciais que norteiam a associação entre a

ocorrência de processos erosivos e as diferentes características naturais e de uso e cobertura do solo, além de facilitar a delimitação das Áreas de Preservação Permanente, de acordo com o disposto pela legislação vigente (PAES *et al.*, 2010).

Como ferramentas, o geoprocessamento dispõe dos Sistemas de Informação Geográfica, que permitem realizar análises complexas, integrando dados de diversas fontes e criando bancos de dados georreferenciados, tornando possível automatizar a produção de documentos cartográficos (EASTMAN, 1998).

A integração entre o modelo EUPS e os SIGs tem sido amplamente efetuada, pois é uma ferramenta simples e eficaz para mapear e quantificar as áreas passíveis de erosão do solo para o desenvolvimento de melhores planos de conservação do solo (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011).

Embora seja um modelo empírico, o uso combinado de sensoriamento remoto, SIG e EUPS são técnicas que fazem a estimativa da erosão do solo e sua distribuição espacial viável e de baixo custo e de uma precisão considerável (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011).

O uso de modelos digitais de elevação permite o mapeamento de informações relativas às características geométricas dos terrenos. Já o uso de dados de satélite, através de técnicas de sensoriamento remoto, permite o mapeamento do uso do solo. Tais informações podem ser associadas por meio de ferramentas estatísticas, tais como álgebra de mapas, possibilitando a observação das perdas de solo em função das características naturais e de uso e manejo do solo (ESPINDOLA, 2011).

Segundo Brown e Webber (2011), o geoprocessamento é uma ferramenta importante para o planejamento de parques nacionais de forma que seja possível associar diferentes informações, como as percepções dos visitantes do parque e impactos ambientais, tornando-se necessário adequar as relações entre os visitantes e a proteção dos recursos naturais.

A utilização de cenários para estudar a mudança no uso da terra em uma bacia hidrográfica cria uma perspectiva de futuro para o uso da Terra (OÑATE-VALDIVIESO & SENDRA, 2010).

Outro estudo, desenvolvido por Terranova *et al.* (2009), utilizou cenários para estimar a perda de solo realizado na Calabria (sul da Itália), com os objetivos de identificar as áreas altamente afetadas pelas erosão do solo pela água.

Na Figura 3, é ilustrada a distribuição das variações da erosão do solo pela água (ESA), determinado pela diferença entre os valores estipulados no cenário atual e os

calculados aos outros cenários em porcentagem em relação ao valor médio de ESA, relevantes para o cenário atual.

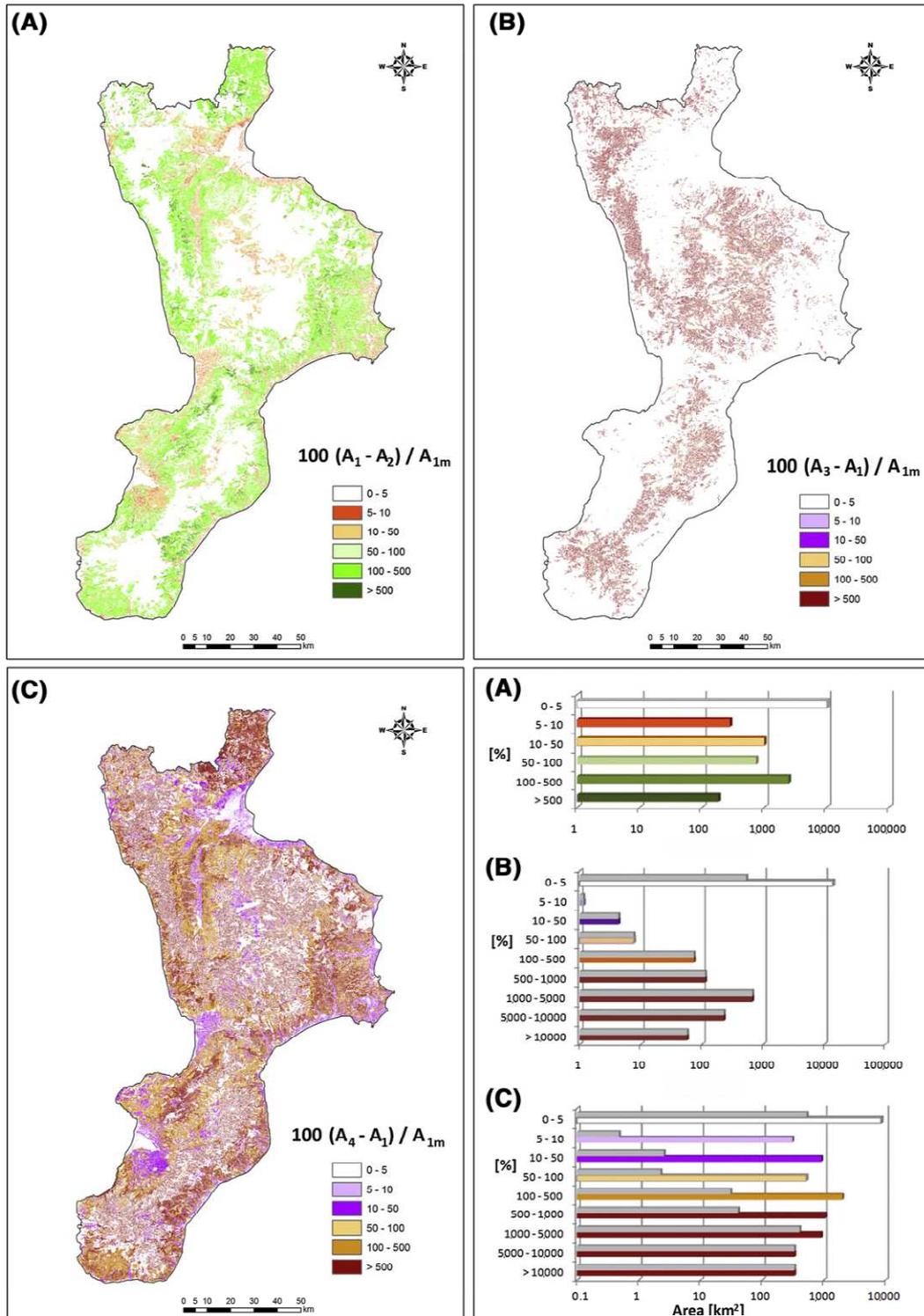


Figura 3 - Distribuição das variações da erosão do solo pela água (TERRANOVA *et al.*, 2009)

Em (A) cenário do projeto; cenário, incluindo os incêndios florestais e os valores médios do fator de erosividade (B), (C) cenário incluindo os incêndios florestais e os mais altos valores do fator erosividade; A1 → ESA relevantes para o cenário atual A1m → valor de A1 significa; A2 → ESA relevantes para o cenário do projeto; A3 → ESA relevantes para o cenário, incluindo os incêndios florestais e os valores médios do fator erosividade; A4 → ESA relevantes para o cenário, incluindo os incêndios florestais e os maiores valores de o fator de erosividade. Os diagramas à direita, em escala semilogarítmica, mostram a extensão das áreas de cada faixa da diferença percentual acima definido. As barras cinzentas mostradas nos diagramas de (B) e (C) representam a distribuição das áreas florestais queimadas em diferentes classes de variação de erosão para os três comparadores.

Cunha *et al.* (2011) estabelece a classificação da fragilidade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão em seis planos de informação, referentes ao relevo, à pedologia, à cobertura do solo, à geologia e pluviosidade, obtendo-se o mapa-síntese da fragilidade ambiental, conforme Figura 4.

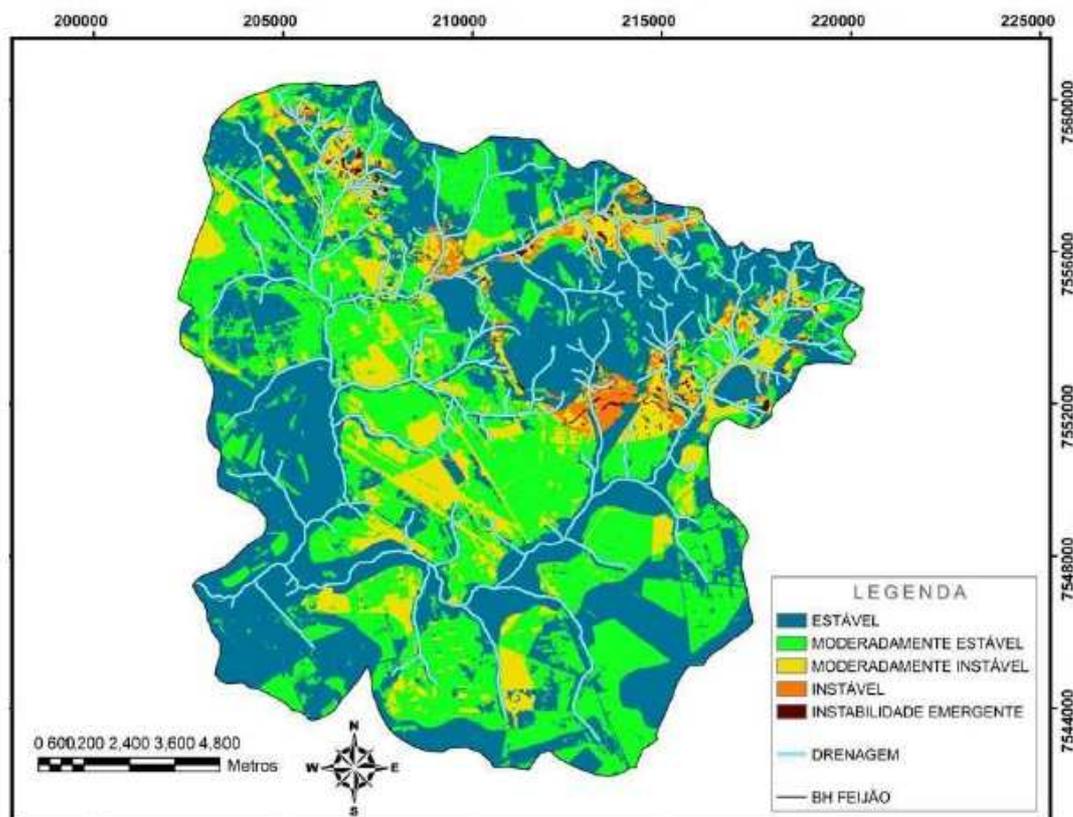


Figura 4 -Zoneamento de vulnerabilidade ambiental no manancial do ribeirão do Feijão(Adaptado de CUNHA *et al.*,2011)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo sintetiza os materiais utilizados e os métodos aplicados na realização do presente trabalho. O item 4.1 expõe a caracterização da área de estudo, o item 4.2 expõe os materiais utilizados para a elaboração do estudo e o item 4.3 expõe os métodos utilizados.

4.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo tem como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - BHRF (Figura 5), pertencente à bacia hidrográfica do Rio Paraná. Possui uma área de 22.270 hectares inseridos no polígono de coordenadas 22°12'58" de latitude Sul e 47°52'10" de longitude Oeste e 21°59'53" de latitude Sul e 47°40'21" de longitude Oeste. A BHRF compõe a bacia do rio Tietê, importante rio do Estado de São Paulo.

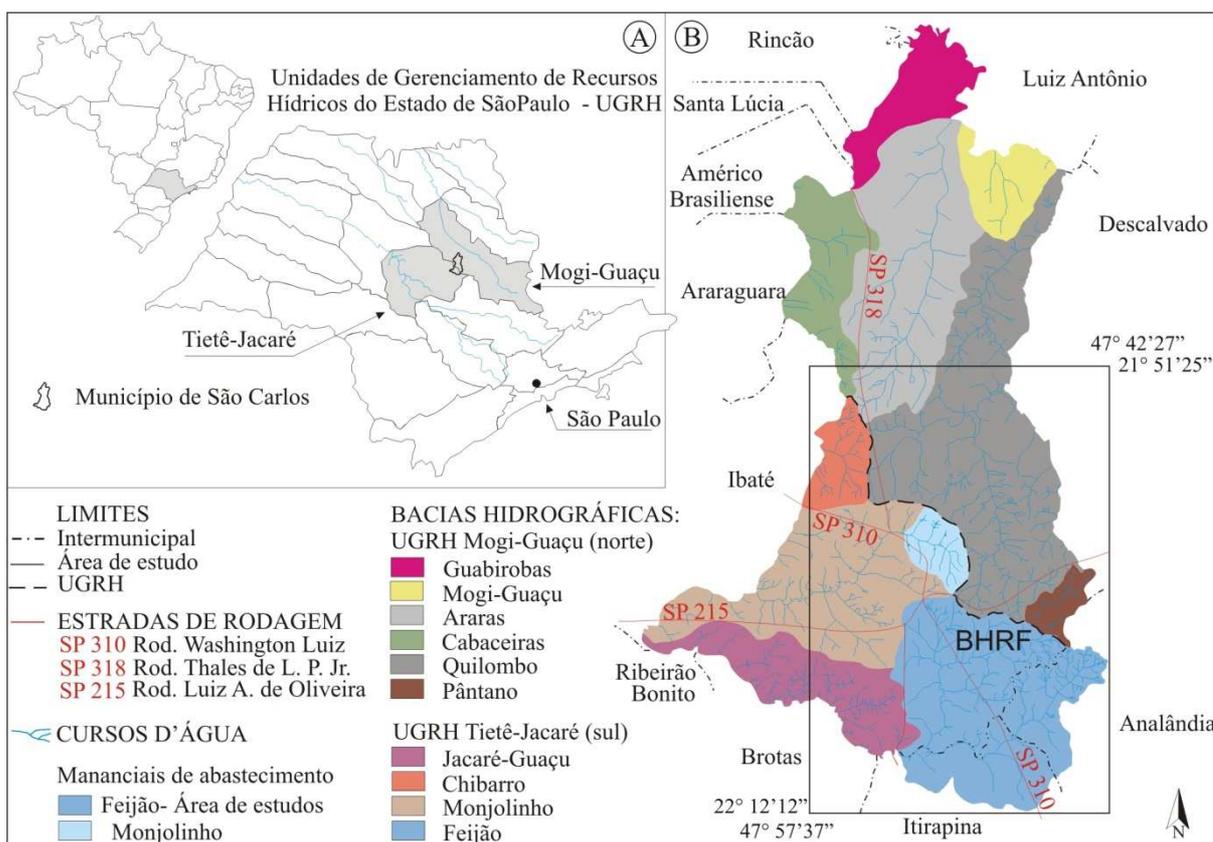


Figura 5 - Sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do município de São Carlos/SP. Fonte: modificado de COSTA *et al.*, 2012).

A umidade relativa do ar é de 76% no verão e de 54% no inverno. A região encontra-se em uma área com relevo de Cuestas, caracterizado por terrenos sedimentares e por uma região chamada de "front", onde o relevo é muito íngreme; e o reverso, onde o terreno é mais plano e inclinado. A vegetação predominante é o Cerrado com ocorrência de matas de morros e matas

galerias no ribeirão, porém, os cerrados são devastados para cobertura de pastagens e também para extração de areia e alumínio. A fauna da região é composta de animais de porte variado, ocorrendo no cerrado: tamanduás (bandeira e mirim), tatus, emas, seriemas, cascavéis, lobos-guarás, jiboias, cervos, carcarás, falcões e tucanos – muitas dessas espécies encontram-se em vias de extinção. Na mata, há ocorrência de sucuris, micos, jararacas, antas, e muito mais. A flora é muito variada: araucárias, bromélias, ipês, palmiteiros, angicos, barbatimão etc (adaptado de PEREZ JÚNIOR, 2012).

O clima da região em estudo é Tropical de Altitude que, segundo Koppen, é do tipo Cwa, com verões chuvosos e invernos secos, caracterizando seis meses quentes e úmidos e seis meses frios e secos. As temperaturas são: máxima em torno de 26,9° e mínima 16,2° C. As variações médias entre os períodos da manhã e da noite são de 5° C. A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais (Figura 6).

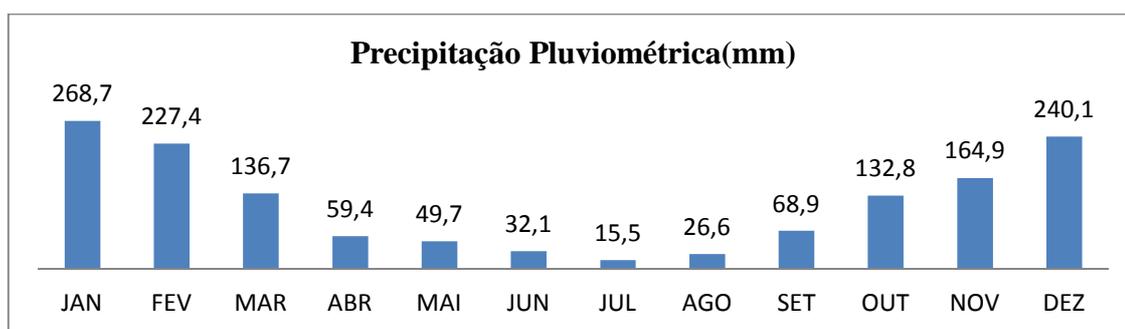


Figura 6 - Precipitação pluviométrica em milímetro do ano de 2012, do município de São Carlos SP. (CEPAGRI, 2013).

Na área do presente estudo podem ser identificadas três cidades: São Carlos, Analândia e Itirapina. São Carlos, município que, em 2010, contava com 228.556 habitantes, dos quais aproximadamente 96% está na área urbana, área total do município de 1.137 km², sendo que 116 km² são drenadas pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão; Analândia, com 4.468 habitantes e uma área total de 327 km², sendo que 50 km² são drenadas pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão; e Itirapina, com 16.016 habitantes e uma área total de 564 km², sendo que 62 km² são drenadas pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, no estado de São Paulo (SEADE, 2013).

A bacia hidrográfica em estudo possui uma unidade de Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), sendo a captação do ribeirão do Feijão responsável por parte do abastecimento da cidade de São Carlos, Figura 7.



Figura 7 - Captação da água no ribeirão do Feijão para o abastecimento urbano, São Carlos, SP. (SAAE, 2012)

Em 1969, o SAAE construiu poços profundos para ampliar sua produção e acompanhar o aumento expressivo da demanda por água pela população de São Carlos (Figura 8).

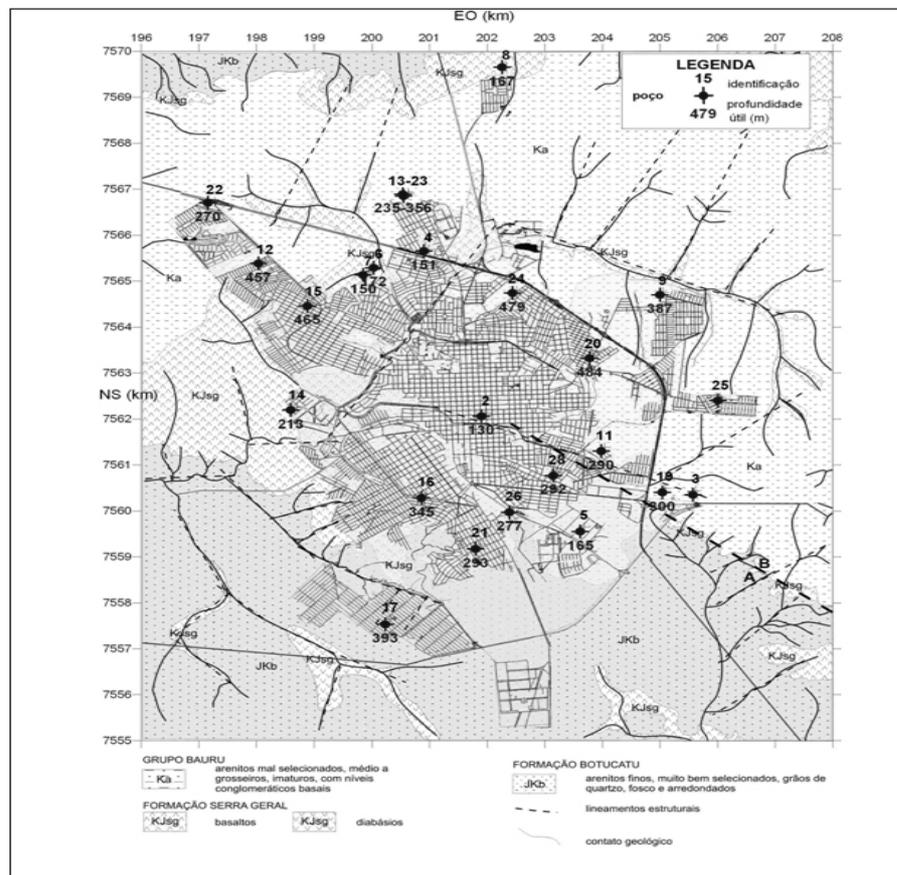


Figura 8 - Localização de poços artesanais em São Carlos (PERRONI & WENDLAND, 2008).

O primeiro poço profundo foi o poço "Antônio Fischer dos Santos" que iniciou sua operação em 02 de junho de 1969, com vazão de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Hoje, produz-se $48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de água de excelente qualidade. A produção por poços foi ampliada acompanhando o aumento

populacional com poços de grande produção, construídos nos bairros São Carlos II, Azulville, Stella Fagá, Cidade Aracy e no Distrito Industrial, além dos distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia. O SAAE conta hoje com 22 poços profundos (produção subterrânea) pela cidade, com produção de 2.300.000 litros por mês. A captação do ribeirão do Feijão foi inaugurada em 1971, iniciando sua operação a 250 L.s^{-1} , com conseqüente ampliação da ETA da Vila Pureza para 440 L.s^{-1} . A captação do ribeirão recebeu melhoramentos com a construção de nova barragem, inaugurada em 28 de junho de 1998, ampliando sua produção para 350 L.s^{-1} . Reformas na ETA de Vila Pureza ampliaram sua capacidade para 520 L.s^{-1} (SAAE, 2012).

4.1.1. Geologia

Segundo DAEE (2005), na era paleozoica (545 a 248 milhões de anos - Ma), desde o período Devoniano (417 a 354 Ma), depositaram-se, nessa região do Estado de São Paulo, extensos pacotes sedimentares em ambiente preponderantemente marinho. No Triássico (248 a 206 Ma), o mar regrediu e não mais retornou. Em ambiente continental, rios e lagos se formaram e o clima foi se transformando, até tornar-se inteiramente desértico. As formações Pirambóia, durante o Triássico, e Botucatu, durante o Jurássico (206 a 142 Ma). No início do Cretáceo (142 a 65 Ma), ainda em condições desérticas, a Bacia do Paraná foi afetada por intenso vulcanismo da Formação Serra Geral: sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu. Depois, no fim do Cretáceo, já em clima semiárido, depositaram-se sobre os basaltos sequências de arenitos calcíferos (Grupo Bauru).

Zuquette (1981) apresenta a formação geológica da região de São Carlos (Figura 9):

a) Formação Piramboia: de cores avermelhadas e amareladas, ocorrem em pequena porção da área de estudo, a oeste e sudeste, posicionando-se aos pés das cuestas, entre altitudes que variam de 650 a 750 metros. E identificada pelos arenitos finos e médios, com predominância fina. Em geral, apresentam pouca profundidade de material inconsolidado, perto de um metro e grau de permeabilidade entre 10^{-4} e 10^{-3} cm/s .

b) Formação Botucatu: de cor avermelhada, aflora nas regiões sul, norte, noroeste e nordeste da área de estudo. São caracterizadas por arenitos homogêneos com granulometria fina a média. Sua espessura apresenta valores da ordem de 280 metros, com escarpas verticais com desníveis topográficos superiores a 200 metros. Representa uma importante unidade do ponto

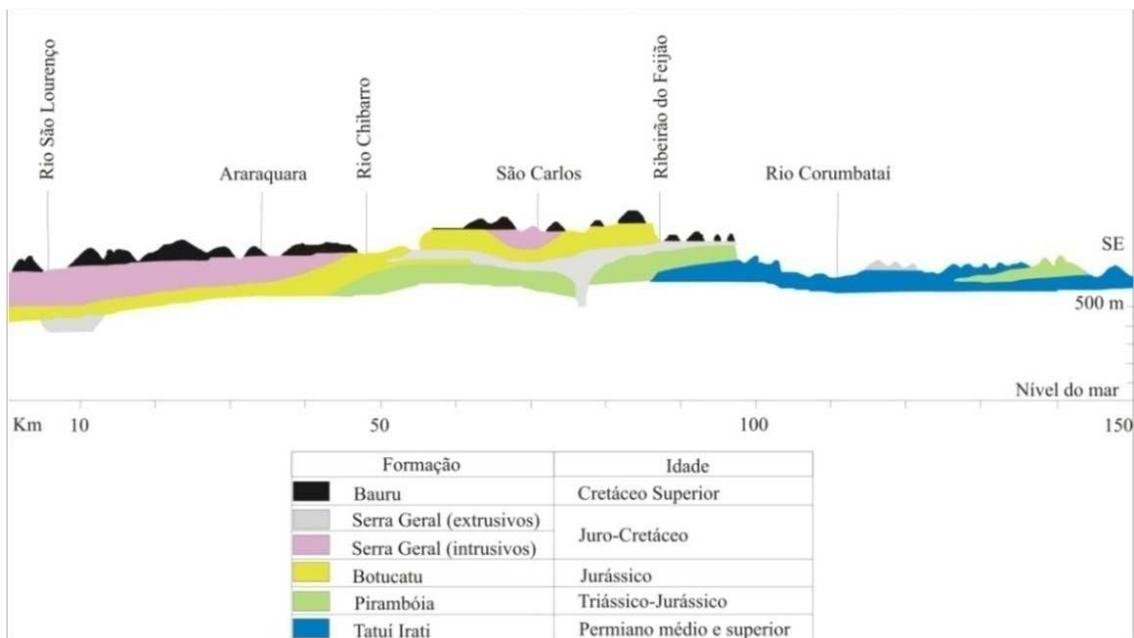


Figura 9 - Seção geológica da região de São Carlos. COSTA *et al.*, 2012 (adaptado de ZUQUETTE, 1981).

de vista das águas subterrâneas, sendo a principal formadora do Aquífero Guarani. O residual do Botucatu apresenta pouca profundidade, não ultrapassando dois metros. A fração areia é sempre superior a 75%. O coeficiente de permeabilidade está entre 10^{-4} e 10^{-2} cm/s ou superior, facilitando a infiltração.

c) Formação Serra Geral: rochas vulcânicas de coloração cinza e negra, representada principalmente, por derrames de basalto e corpos intrusivos. Afloram a leste, oeste, nordeste e norte, na estreita região das cuestas (Figura 10).



Figura 10 - As cuestas da área em estudo.

Ocorre a quebra do relevo, frequentemente em forma de paredões, sendo que, em diversos pontos, acha-se recoberta por solo residual. Geralmente, em encostas e vales, apresenta-se fraturada, com espessura ao redor de 165 metros. O material inconsolidado varia em torno de cinco metros de profundidade. Dados do coeficiente de permeabilidade são de 10^{-1} e 10^{-5} cm/s, em média.

d) Formação Bauru: sobreposto na Formação Botucatu e na Formação Serra Geral, no reverso das cuestas. Aflora o norte da área e é representada por arenitos não cimentados, de granulometria fina e coloração amarela a avermelhada. Quanto à espessura, nesta região atinge cerca de 30 m. O residual do Grupo Bauru apresenta espessuras variando de zero a dois metros, com granulometria de areia fina a média até argila arenosa. Os coeficientes de permeabilidade apresentam variações de 10^{-5} e 10^{-2} cm/s.

e) Sedimentos Cenozóicos: ocorrem principalmente ao sul da área, com granulometria predominante de areia. São encontrados em depósitos aluvionares e coluvionares.

4.1.2. Aquífero Guarani

O conceito hidrogeológico dessa formação aquífera pode ser resumido em uma grande esponja que armazena água. Na Figura 11, observa-se que o manancial do Feijão situa-se sobre a franja da Formação Botucatu, fazendo com que essa bacia hidrográfica seja considerada uma importante área de recarga (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991).

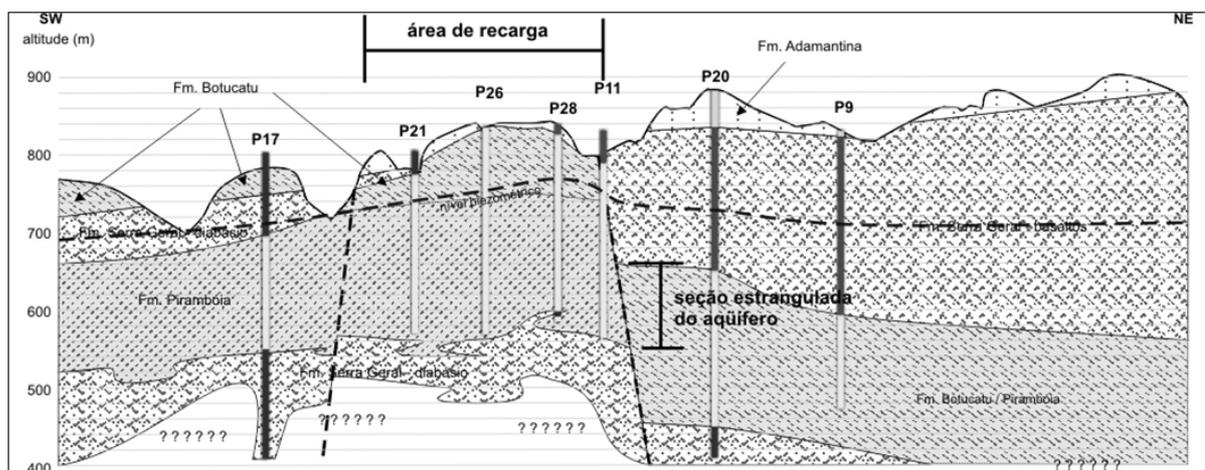


Figura 11 - Áreas de recargas do aquífero (PERRONI & WENDLAND, 2008).

A infiltração basicamente se dá na área potencial de recarga, a área de afloramento da Formação Botucatu (DAEE, 2003). Segundo DAEE (2005), a região de São Carlos está localizada sobre a faixa aflorante que se estende de norte a sul do estado.

4.1.3. Pedologia

Segundo IAC (1981, 1982), as seguintes classes de solos são identificadas: latossolo vermelho-amarelo, vermelho-escuro e roxo; podzólico vermelho-amarelo, terra roxa estruturada, areias quartzosas profundas, solos litólicos e solos hidromórficos.

4.2. Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos materiais utilizados.

Materiais	Descrição/Fonte	Fontes
Software Idrisi Andes	Desenvolvido pela Clark University	(EASTMAN, 1998)
Software CorelDraw11	Versão X3	-
Cartas topográficas São Carlos, Corumbataí	SF-23-Y-A-1-1-, SF-23-Y-A-1-2 1:50.000	(IBGE, 1971)
Carta de Uso e Cobertura do solo do Ribeirão do Feijão.	Imagens do satélite ALOS, sensor AVNIR-2, com resolução de 10 metros, de novembro de 2006	(CUNHA <i>et al.</i> , 2011)
Carta Pedológica	SF-23-Y-A-I 1:100.000	(OLIVEIRA & PRADO, 1984)
Software NetErosividade	Analisa a erosividade da chuva	Universidade Federal de Viçosa e Instituto Agrônomo de Campinas, SP, Brasil.
Software USLE 2D	Versão 4.1	(DESMET & GOVERS, 1996)

Os *softwares* e instrumentos supracitados foram disponibilizados pelo NEPA - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática, pertencentes ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

4.3. Métodos

Os mapas utilizados e produzidos neste trabalho foram convertidos e gerados com o sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* horizontal Córrego Alegre e *datum* vertical Imbituba. O esquema geral da metodologia empregada é apresentado na Figura 12.

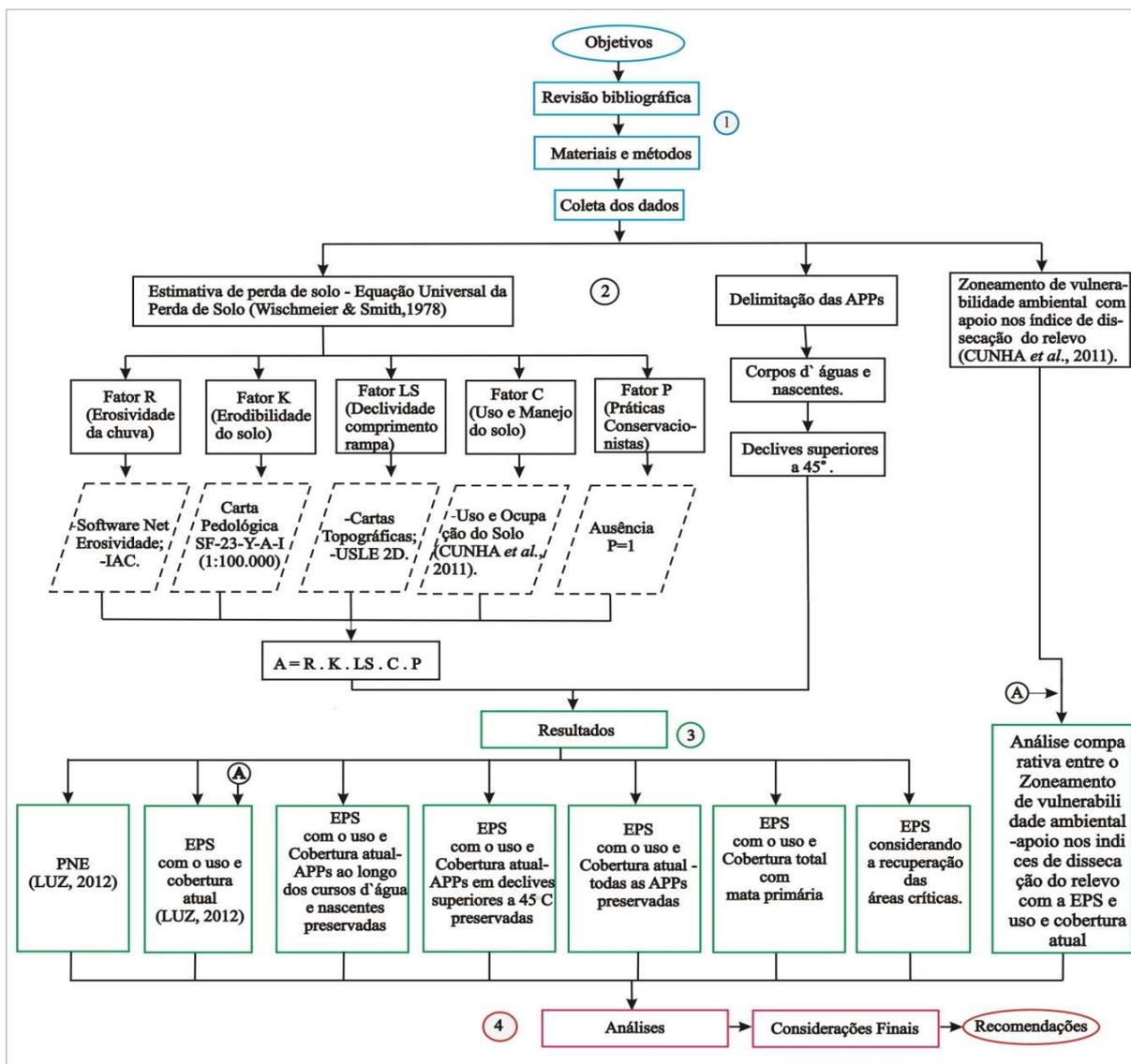


Figura 12 – Esquema geral da metodologia utilizada.

Na figura 12, as fases enumeradas servem para facilitar a organização e entendimento da estrutura de execução do trabalho. Consistiu em quatro fases gerais: 1- Determinação dos objetivos, revisão bibliográfica, levantamento dos materiais e escolha dos métodos; 2 - determinação dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo: erosividade da chuva (R),

erodibilidade do solo (K), comprimento de rampa (L), grau de declive (S), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P); da delimitação das Áreas de Preservação Permanente; e do Zoneamento de vulnerabilidade ambiental com apoio ao índice de dissecação de relevo. 3 – simulações da perda de solo para diferentes cenários de cobertura da terra no Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP e 4- Conclusão do estudo através das análises dos resultados e recomendações.

4.3.1. Determinação dos valores da EUPS

■ Fator Erosividade da Chuva – Fator R

O potencial erosivo da chuva pode ser expresso pela quantidade de solo perdida por unidade de área, em um terreno desprovido de cobertura, variando, portanto, com a declividade, tipo de solo e características da chuva, de acordo com Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). O cálculo do fator R foi feito por meio do *software* NetErosividade que utiliza uma rede neural artificial – RNA para estimar os valores de erosividade da chuva para todo o Estado de São Paulo, a partir de dados de latitude, longitude e altitude (MOREIRA *et al.*, 2006).

A determinação da erosividade da chuva depende dos dados de precipitação colhidos por estações pluviométricas. O *software* utilizado faz a interpolação dos dados consistidos de 138 estações pluviométricas do estado de São Paulo, no período de 1961/1990. Essa interpolação foi feita pela RNA que utiliza a equação 2, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

$$(2) \quad R = \sum EI = \sum \left\{ 67,355 * \left(\frac{r_x^2}{P} \right)^{0,85} \right\}$$

Onde R = erosividade média mensal do mês k; r = precipitação média mensal do mês k, mm; P = precipitação média anual, mm.

■ Fator Erodibilidade do Solo – Fator K

O fator K é a erodibilidade do solo e mensura a capacidade que cada tipo de solo tem de erodir. Os valores de K, portanto, estão relacionados às características intrínsecas do solo,

como permeabilidade, porosidade e composição.

Para este trabalho, os valores de K foram obtidos a partir de consulta à literatura, e foram relacionados com a distribuição espacial pedológica da área. A carta pedológica foi digitalizada e importada em formato *GeoTiff* para o aplicativo Globalmapper 11 para a vetorização das classes de solos e exportadas para o SIG, onde cada tipo de solo foi relacionado com o valor referente.

☐ Fator Manejo do Solo – Fator CP

O fator C define a influência da cobertura vegetal e do manejo do solo feito pelo Homem, trata-se de um fator importante para a definição das perdas de solo, pois é o único que pode ser alterado. Segundo Wischmeier e Smith (1978), esse fator consiste na relação esperada entre perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e outro mantido continuamente cultivado por unidade de área em um local qualquer, comparado com as perdas de solo correspondentes em um comprimento de rampa padrão de 25 metros e declividade de 9%.

Para este trabalho, o fator C foi determinado a partir do mapeamento do uso e cobertura realizado por Cunha *et al.* (2011), que o fez a partir de uma composição colorida falsa cor de imagens do satélite ALOS. Foram adotados os valores encontrados na literatura para os 9 temas presentes, no mapa de uso e cobertura do solo.

O fator P trata das práticas conservacionistas adotadas por cada tipo de cultura, sendo que o valor 1 considera a pior situação em relação às práticas conservacionistas. Neste estudo, foi considerado que não há práticas conservacionistas, sendo aplicadas na bacia em estudo, portanto, o fator P é 1 para toda a bacia.

☐ Fator Topográfico – Fator LS

O fator LS considera a declividade e o comprimento da rampa que determinam a velocidade e o tempo do escoamento e, portanto, influenciam na quantidade de solo erodido. O MDT (Modelo Digital do Terreno), gerado pela digitalização das curvas de nível da carta topográfica em escala 1:50.000 (IBGE, 1972), na qual empregou-se grades de pontos regulares disponibilizada no Módulo *Intercon* do SIG *Idrisi Andes*. Após a elaboração do MDT, este foi utilizado na obtenção do Fator LS, através de aplicação automática no *software*

USLE-2D, desenvolvido por Desmet & Govers (1996), sendo este compatível com o SIG *Idrisi Andes*.

Para estimativa dos valores para o comprimento de rampa foi aplicado o modelo hidrológico de composição de fluxo; e para estimativa dos valores de declividade, utilizaram-se os cálculos propostos por Wischmeier e Smith (1978), como mostra a equação 3.

$$(3) \quad S = 65,41 \operatorname{sen} 2\theta + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 0,065$$

Onde S = fator de declividade (adimensional); θ = declividade (%).

4.3.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente

A segunda etapa foi subdividida em 3 partes: 1) delimitação de APPs, ao longo dos cursos d'água; 2) delimitação de APPs ao redor das nascentes e 3) delimitação de APPs, em declives superiores a 45°. Para efetuar esta etapa, tomou-se como referência a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que institui o novo Código Florestal Brasileiro e a A Legislação Florestal do Estado de São Paulo (Decisão de Diretoria nº. 148/2010/L, de 11-5-2010). Também são abordadas as Resoluções do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, que dispõem sobre a definição e parâmetros de delimitação das APPs - de 20 de março de 2002. No município de São Carlos, a Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano dispõe de um projeto de lei que trata da criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município de São Carlos – APREM- SC.

■ APPs ao longo dos cursos d'água

O novo Código Florestal Brasileiro define que as APPs, ao longo dos cursos d'água, devem ser delimitadas em função de seu nível mais alto em faixa marginal que, por sua vez, é definido pela Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002, como o nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente.

Segundo Cota (2008), a definição do nível mais alto de cheias consiste em um procedimento difícil, pois, além de não possuir um método padrão, demanda a conferência *in*

situ e por um período maior de tempo, pois a cada ano pode ser alcançado um nível diferente de cheias. Assim, para tal delimitação, seria necessário um recorte temporal, o que demandaria um estudo de, aproximadamente, 10 anos. Em função disso, muitos estudos apresentam sua delimitação a partir das margens dos cursos d'água, desconsiderando o critério de nível alcançado por ocasião das cheias.

■ APPs ao redor de nascentes

O novo Código Florestal Brasileiro define como APPs as áreas a um raio de 50m das nascentes ou olhos d'água, sendo estes definidos pela Resolução CONAMA n° 303 de 20 de março de 2002, como o local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea.

Dessa forma, para a definição das APPs ao redor das nascentes efetuou-se a delimitação destas por meio de vetorização no AutoCAD e posterior rasterização no *Idrisi Andes*.

■ APPs em declives superiores a 45°

O novo Código Florestal Brasileiro e as respectivas modificações dadas pela Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012, define como APPs as áreas em encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive.

Todas as legislações utilizadas no trabalho estão disponíveis no Anexo II dessa dissertação.

4.3.3. Simulação dos cenários de EPS

Os cenários foram obtidos mediante a simulação da perda de solo, considerando a cobertura atual do solo associada a diferentes situações de preservação das APPs. Os cenários elaborados corresponderam a Tabela 2:

Tabela 2- Descrição dos cenários simulados no estudo.

CENÁRIOS	DESCRIÇÃO
1	PNE (Potencial Natural de Erosão).
2	EPS (Expectativa de Perda de Solo) com a cobertura atual.
3	EPS, considerando a cobertura atual com APPs, ao longo dos cursos d'água e nascentes preservadas.
4	EPS, considerando a cobertura atual com APPs, em declives superiores a 45° preservadas.
5	EPS, com todas as APPs preservadas.
6	EPS, considerando toda a área de estudo coberta por mata primária.
7	EPS, considerando a recuperação das áreas críticas.
8	Análise comparativa entre o zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo com a EPS e cobertura atual.

Observações: (1) PNE , na qual considera somente a ação dos fatores físicos que interferem na perda de solo (erosividade, erodibilidade e topografia), admitindo que o solo esteja descoberto; (2) EPS com a cobertura atual , na qual considera os usos atuais mapeados na área de estudo; (7) EPS, considerando a recuperação das áreas críticas – na qual determinou-se que a área crítica é aquela cuja perda é superior a 100 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ sendo a perda muito severa, de acordo com Irvem *et al.* (2007) ; e por último, (8) análise comparativa entre o zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo com a EPS e cobertura atual. Essa análise está fundamentada na comparação do modelo de Ross (1994), que considera os índices de dissecação do relevo com a EUPS. Para chegar aos resultados do zoneamento ambiental, foram consideradas as variáveis referentes ao relevo, à pedologia, a cobertura do solo, à geologia e pluviosidade.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Este item apresenta os resultados obtidos no trabalho. Serão expostos os resultados referentes à determinação dos fatores da EUPS; referentes à delimitação das APPs, os referentes à simulação dos cenários de EPS e, finalmente, os resultados da análise comparativa do zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo e a EPS com o uso e cobertura atual.

5.1. Obtenção dos fatores da EUPS

Para analisar a susceptibilidade de uma área à erosão, foi utilizado o modelo matemático EUPS.

5.1.1. Fator R – Erosividade da Chuva

O valor anual de erosividade da chuva encontrado para a área de estudo foi de 7.362 MegaJoule.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. De acordo com Mello *et al.* (2007), representado na Tabela 3, o valor de erosividade encontrado para a bacia pode ser classificado como alto, o que significa que o fator erosividade exerce grande influência na perda de solo da bacia.

Tabela 3 - Classes interpretativas de erosividade da chuva

Classes de Erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹)	Interpretação
< 4.905	Baixa
4.905 – 7.357	Média a Alta
7.357 – 9.810	Alta
> 9.810	Muito Alta

Fonte: adaptado de Melo *et al.*, 2007.

5.1.2. Fator K – Erodibilidade de solo

O mapa pedológico (Figura 13), da área de estudo, indicou o predomínio de areia quartzosa profunda em 42% e latossolo vermelho amarelo em 33% da bacia.

A areia quartzosa profunda está presente nas partes mais baixas e o latossolo vermelho-amarelo nas partes altas da bacia, onde estão as nascentes dos rios. Esses solos

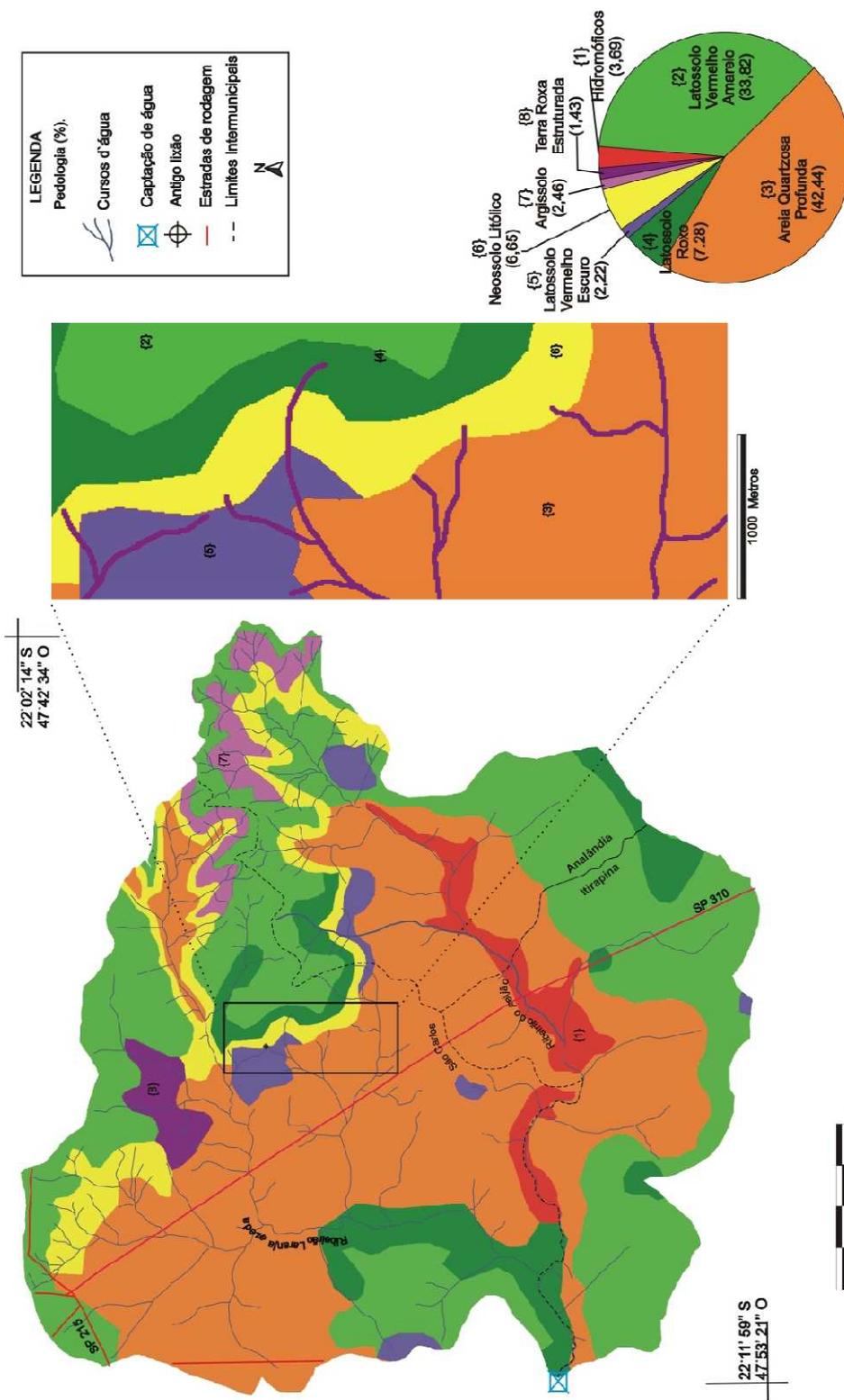


Figura 13 - Mapa Pedológico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Adaptado de OLIVEIRA & PRADO, 1984).

juntos representam 75% da área total da bacia e possuem valor de $k = 0,032$, indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de K para os 8 tipos de solo da bacia.

Tipos de solo	Fator k (t.ha.h/ha.Mj.mm)	Fonte
(1) Solo Hidromórfico	0,038	Silva, 2004
(2) Neossolo Litólico	0,040	Silva, 2004
(3) Latossolo Roxo	0,013	Silva, 2004
(4) Areia Quartzosa Profunda	0,032	Silva, 2004
(5) Latossolo Vermelho-escuro	0,014	Silva, 2004
(6) Latossolo Vermelho-amarelo	0,032	Silva, 2004
(7) Argissolo	0,040	Silva, 2004
(8) Terra Roxa estruturada	0,011	Chaves, 1994
Média	0.0275	

De acordo com as classes interpretativas, indicadas por Carvalho (1994) apud Silva & Alvares (2005), os solos indiscriminados possuem erodibilidade alta, como representado na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade dos solos

Limites de valores (t.h.ha.MJ ⁻¹ .ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	Interpretação
< 0,01529	Baixa
0,01529 – 0,03058	Média a Alta
> 0,03058	Alta

Fonte: Carvalho (1994) apud Silva e Alvares, 2005).

5.1.3. Fator LS – Topográfico

O mapa do fator LS (Figura 14), mostra as 6 classes delimitadas, de acordo com a metodologia utilizada por Silva & Schulz (2003), representada na Tabela 6. De acordo com tais autores, valores inferiores a 1 indicam que, ao menos matematicamente, o relevo, em tais

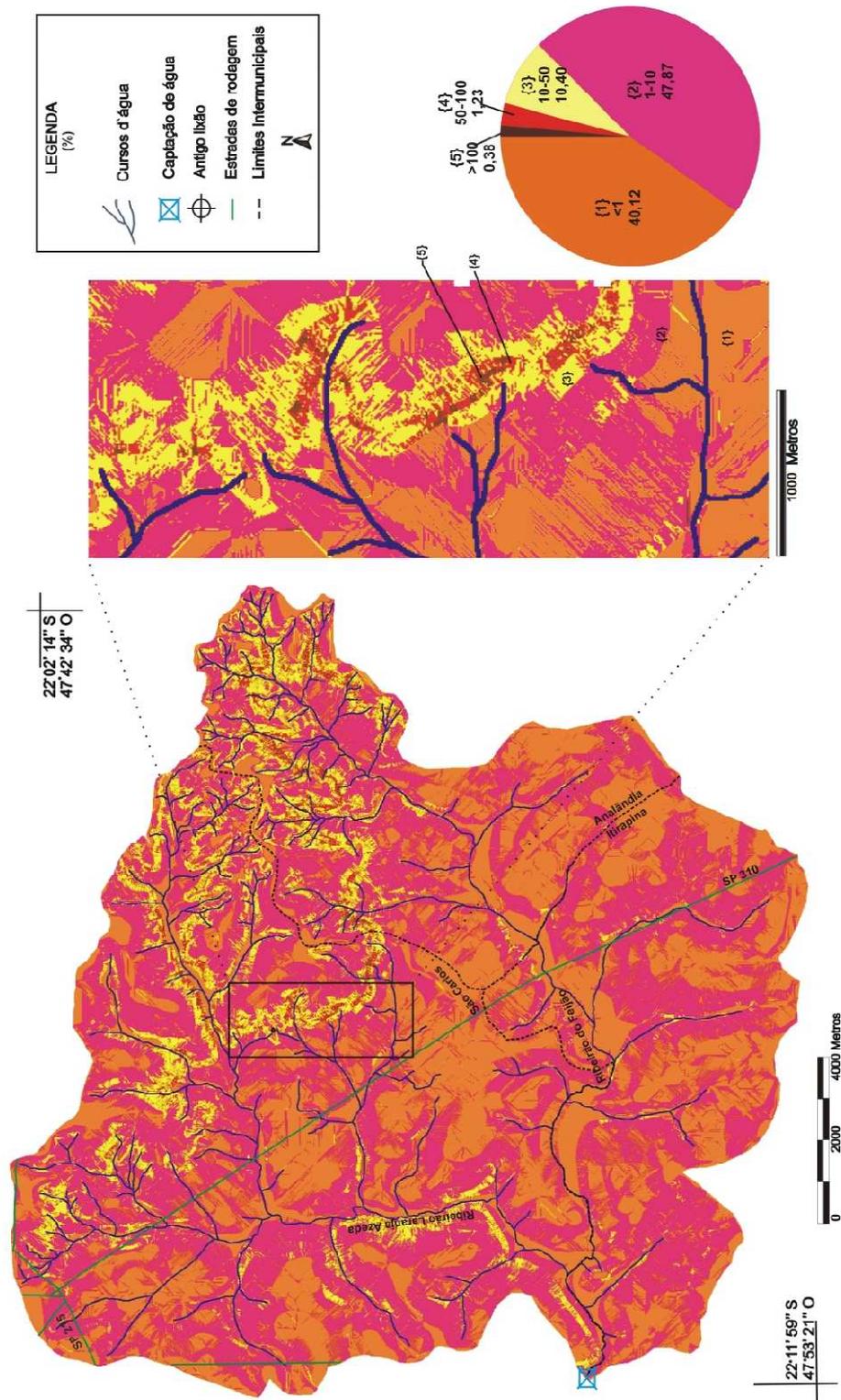


Figura 14 - Fator LS para a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.
Fonte: Adaptado de Luz, 2012.

áreas, atuam como amenizador do processo erosivo, pois quando valores entre 0 e 0,99 são aplicados na EUPS, os valores de perda tendem a diminuir. Já, quando valores exatamente iguais a 1 são aplicados ao modelo, tem-se uma participação nula do fator LS, constituindo-se em elemento neutro na multiplicação. Por outro lado, quando valores superiores a 1 são aplicados à equação, verifica-se a ampliação do valor final.

Tabela 6 - Classes interpretativas do fator LS

Fator LS	Interpretação
< 1	Amenização
1	Neutralidade
1 a 10	Aumento da perda
10 a 50	Aumento da perda
50 a 100	Aumento da perda
> 100	Aumento da perda

Fonte: Silva e Schulz (2003).

O mapa do fator LS mostra que em 40% da área, a deposição é maior do que o carreamento de sedimentos, estes locais concentram os sedimentos e a poluição carreados das partes à montante. Logo, o cuidado deve ser intensificado nas porções mais altas.

5.1.4. Fatores CP – Cobertura e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

A Tabela 7 indica que, na literatura, em cada uso e cobertura do solo existem o fator C, e essa informação é fundamental para desenvolver os diversos cenários de predição de perda de solo.

Foi verificado, em campo, que existe pouca ou nenhuma prática conservacionista sendo aplicada na bacia, então o valor de P foi 1.

A Figura 15 mostra fotos da área de estudo, ilustrando os tipos de cobertura do solo.



Figura 15- Fotos da área em estudo, representando os tipos de cobertura do solo.

Tabela 7 - Fator C para as diferentes coberturas do solo

Uso do solo	C	Fonte
{1} Mata ciliar	0,012	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
{2} Urbano	0,001	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
{3} Cerrado	0,042	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
{4} Reflorestamento	0,001	Weill e Sparovek, 2008
{5} Solo exposto	1,000	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
{6} Pastagem	0,010	Oliveira <i>et al.</i> , 2011
{7} Cana-de-açúcar	0,3066	Weill e Sparovek, 2008
{8} Laranja	0,200	Pimenta, 1998
{9} Água	0,000	Oliveira <i>et al.</i> , 2011

O mapa de cobertura do solo (Figura 16), elaborado por Cunha *et al.* (2011), indicou o predomínio das áreas de pasto (38%), seguida pela agricultura de laranja (13%) e pelo solo exposto (12%). Cerradão e mata ciliar, áreas que protegem o manancial, estão em apenas 15% da bacia. Outra cultura é a cana-de-açúcar (3,05%); as de Zonas de reflorestamento aparecem em 10% das áreas e áreas urbanas ocupam 4%. Observa-se que 25% da bacia apresenta uso, como a laranja e o solo exposto, que possuem o fator C alto, o que favorece a erosão. As pastagens, apesar de possuírem valor baixo de C, não protegem os solos contra lixiviação de nutrientes e poluição, além de apresentarem terreno compactado e favorecerem o surgimento de voçorocas e erosão por deslizamentos. Portanto, existe necessidade de maior atenção com relação à manutenção, tanto do manancial de abastecimento da cidade de São Carlos, como do aquífero Guarani, que compreende a região estudada.

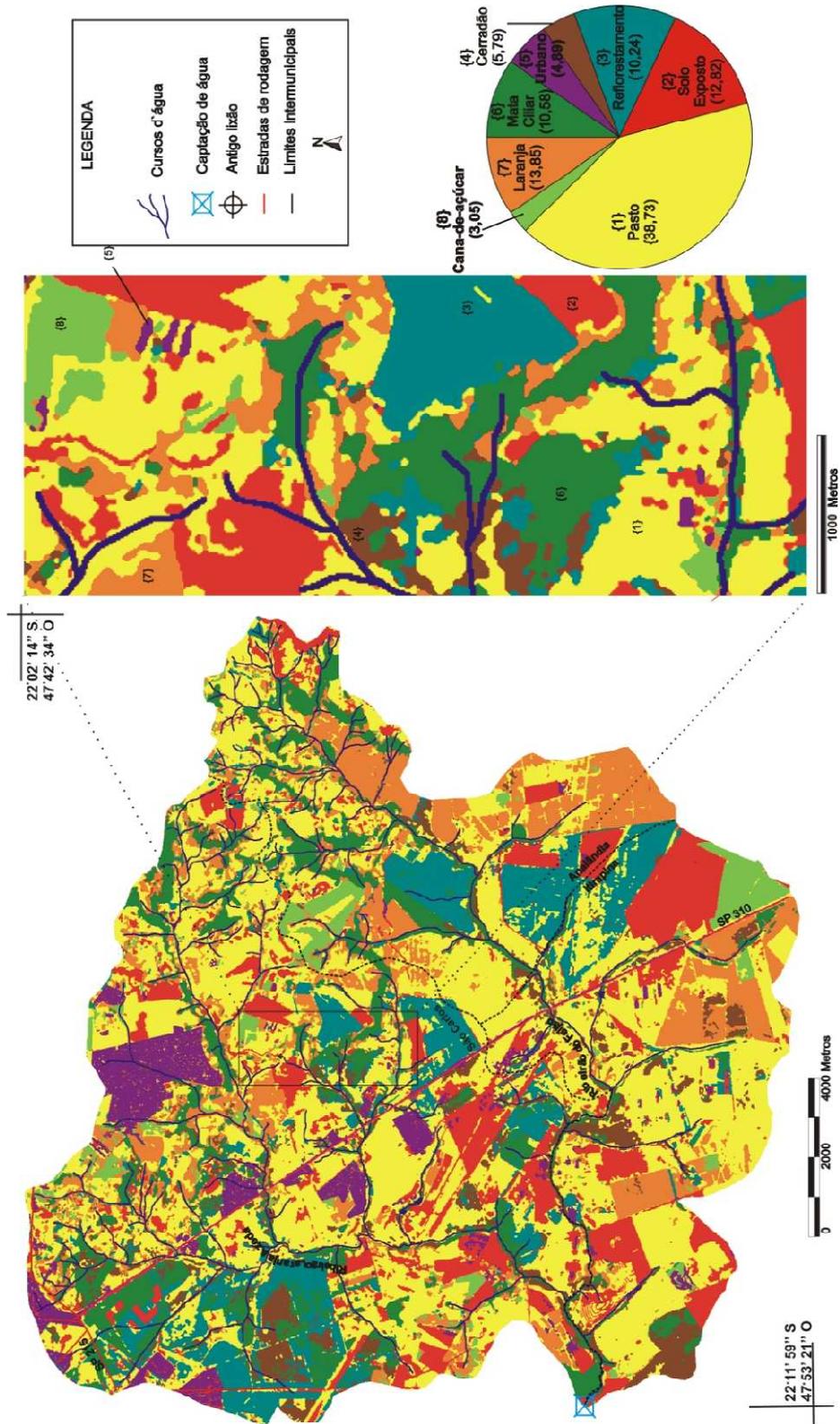


Figura 16 - Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão que compõe o município de São Carlos-SP.

Fonte: Adaptado de Cunha *et al.*, 2011. (Imagem de novembro de 2006)

5.2. Cenários de Expectativa de Perda de Solo

O cenário 1 considera a PNE, ou seja, retira a interferência do fator C da EUPS. O cenário 2 permite determinar a EPS nas condições de uso e cobertura atual do solo (2006). No cenário 3, a EPS é determinada para que seja possível conhecer como as APPs de mata ciliar não existentes interferem na perda do solo com uso e cobertura atuais. No cenário 4, da mesma maneira que 3, permite conhecer a influência das APP com declividades superiores a 45° na perda do solo. No cenário 5, também da mesma maneira que em 3 e 4, considera todas as APPs da BHRF para que seja possível entender a influência do conjunto de APPs na EPS. No cenário 6, foi estabelecida a cobertura total com a vegetação primária, para que seja possível entender o que o processo de eliminação de vegetação tem sobre a BHRF, e também, para que sirva de referência do que originalmente foi no passado. No cenário 7, também considerando o uso e cobertura atual e com delimitação das áreas críticas via EUPS, foram consideradas recuperadas. Isso possibilita entender, via estabelecido da EUPS como parâmetro de fragilidade da BHRF, a importância de recuperar a bacia. Essa experimentação se fez, por causa da relação direta que existe entre perda do solo e qualidade da água, ou seja, minimizar a perda de solo para a qualidade da água do manancial melhorar.

Os resultados foram obtidos com as simulações dos 7 cenários na BHRF, considerando como fatores constantes a topografia, a pedologia e a erosividade e como fator variável a cobertura do solo.

O resultado obtido para potencial natural de solo - PNE (Figura 17) foi dividido em 4 classes, conforme indicado por Silva (2008), de acordo com a Tabela 8. A partir deste mapa, é possível observar que mais de 70% da bacia apresenta muito baixa ou baixa susceptibilidade natural à erosão, o que revela que a cobertura do solo influencia muito nas altas perdas encontradas 13,04% da área encontra-se inserida no intervalo entre 800 - 1600 e, superior à 1600 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 15,76% esses valores; se não houver um manejo adequado do solo, pode afetar drasticamente o manancial.

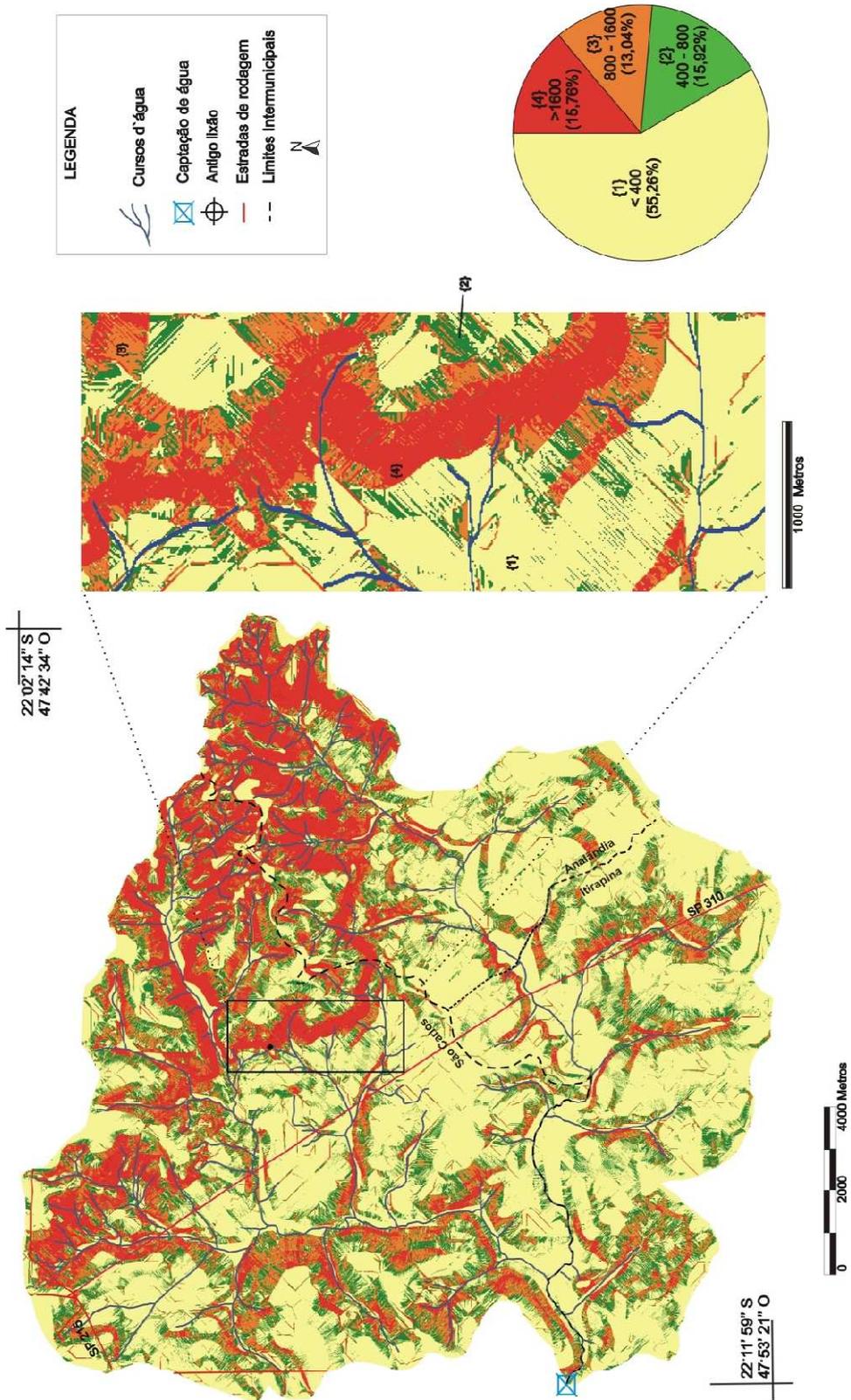


Figura 17- Cenário 1: PNE – Potencial Natural de Erosão (classificação interpretativa citada por SILVA, 2008) . Fonte: Adaptado de Luz, 2012.

Tabela 8 - Classes interpretativas de perda natural de solo

Classes de Perda de Solo (ton/ha.ano)	Interpretação
0 - 400	Muito Baixa
400 - 800	Baixa
800 - 1600	Moderada
> 1600	Extremamente Severa

Fonte: Silva, 2008.

As estimativas de PNE podem contribuir, ainda, para restringir o uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, evitando assim, onerar custos de infraestrutura e patologias em obras da construção civil (PEDRO E LORANDI, 2004).

5.2.1. EPS com a cobertura atual

O resultado para a perda de solo, considerando a cobertura atual, e os demais cenários são apresentados conforme escala de Irvem *et al.* (2007), na Tabela 9.

Neste cenário, considera-se a cobertura atual do solo, os resultados indicam que 45,32% da área de estudo apresenta perda de solo muito baixa (< 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹); 11,87% baixa (5 - 12 t.ha⁻¹.ano⁻¹); 16,18% moderada (12 - 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹); 6,6% severa (50 - 100 t.ha⁻¹.ano⁻¹); 6,73% muito severa (100 - 200 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e 13,3% extremamente severa (>200 t.ha⁻¹.ano⁻¹). Cerca de 26,63% da bacia apresenta perda de solo severa, muito severa e extremamente severa, o que mostra que mais do que um quarto da bacia está sob risco de erosão acima do que deveria, devido à má utilização do solo.

Tabela 9 - Classes interpretativas de perda de solo

Classes de Perda de Solo (ton/ha.ano)	Interpretação
< 5	Muito Baixa
5 - 12	Baixa
12 - 50	Moderada
50 - 100	Severa
100 - 200	Muito Severa
> 200	Extremamente Severa

Fonte: Irvem *et al.*, 2007.

Os resultados dos cenários de 2 a 5, na Tabela 7, mostram que as APPs têm forte influência na redução da EPS. Esta redução pode ser observada de maneira destacada nos cenários 3, 4 e 5, quando comparado ao 2, que tem o uso e cobertura atual do solo para faixa de 12 a 50 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Nesta faixa de 12 a 50, nos cenários 3, 4 e 5, a perda permanece constante. Nota-se que quando as áreas de APPs desprotegidas recebem proteção da vegetação há a redução da perda. Nesse caso, maiores reduções na EPS provêm de perdas que são atenuadas na faixa de 100 até 200 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Para os demais intervalos, as EPS se mantêm praticamente constantes (Figuras 18, 19, 20 e 21).

Contudo, quando determinadas as áreas de maiores fragilidade, considerando como frágeis áreas que tenham EPS acima de 100 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, via EUPS para o uso e cobertura atual, a configuração e a distribuição das EPS se alteram de maneira significativa.

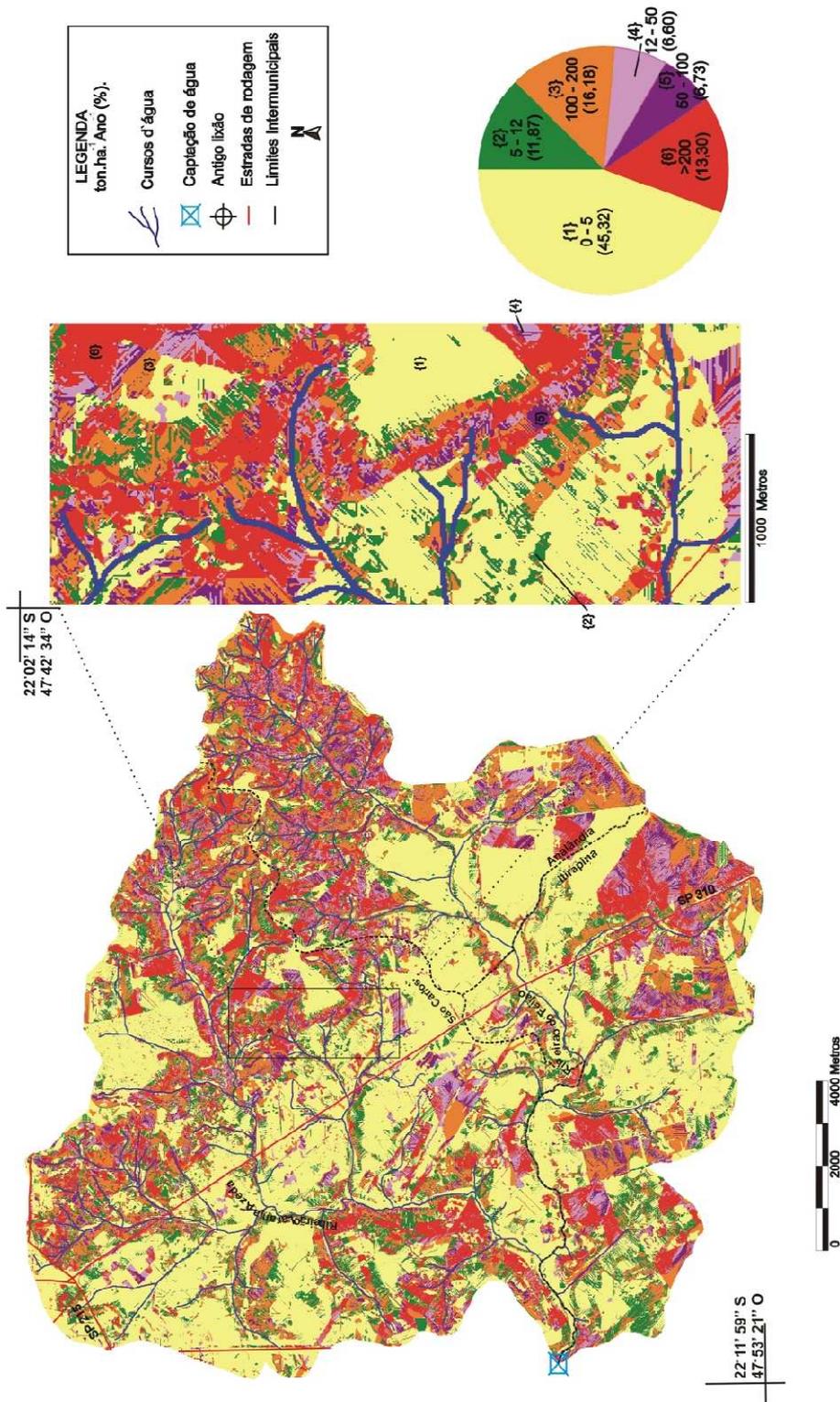


Figura 18: Cenário 2- EPS com uso e cobertura atual (Adaptado de Luz, 2012)

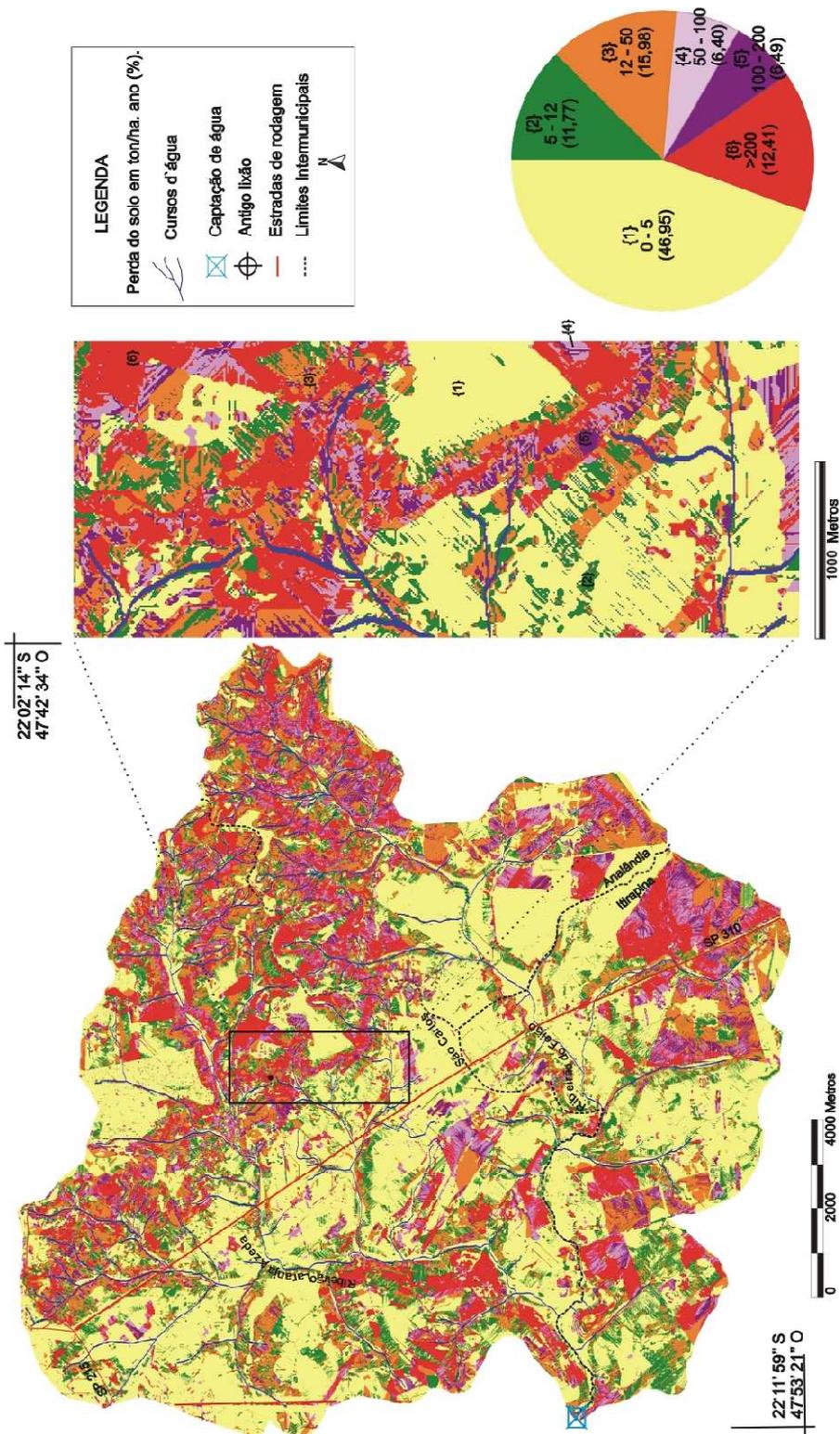


Figura 19 – Cenário 3: EPS com uso e cobertura atual, considerando APPs ao longo dos cursos d'água e nascentes preservadas

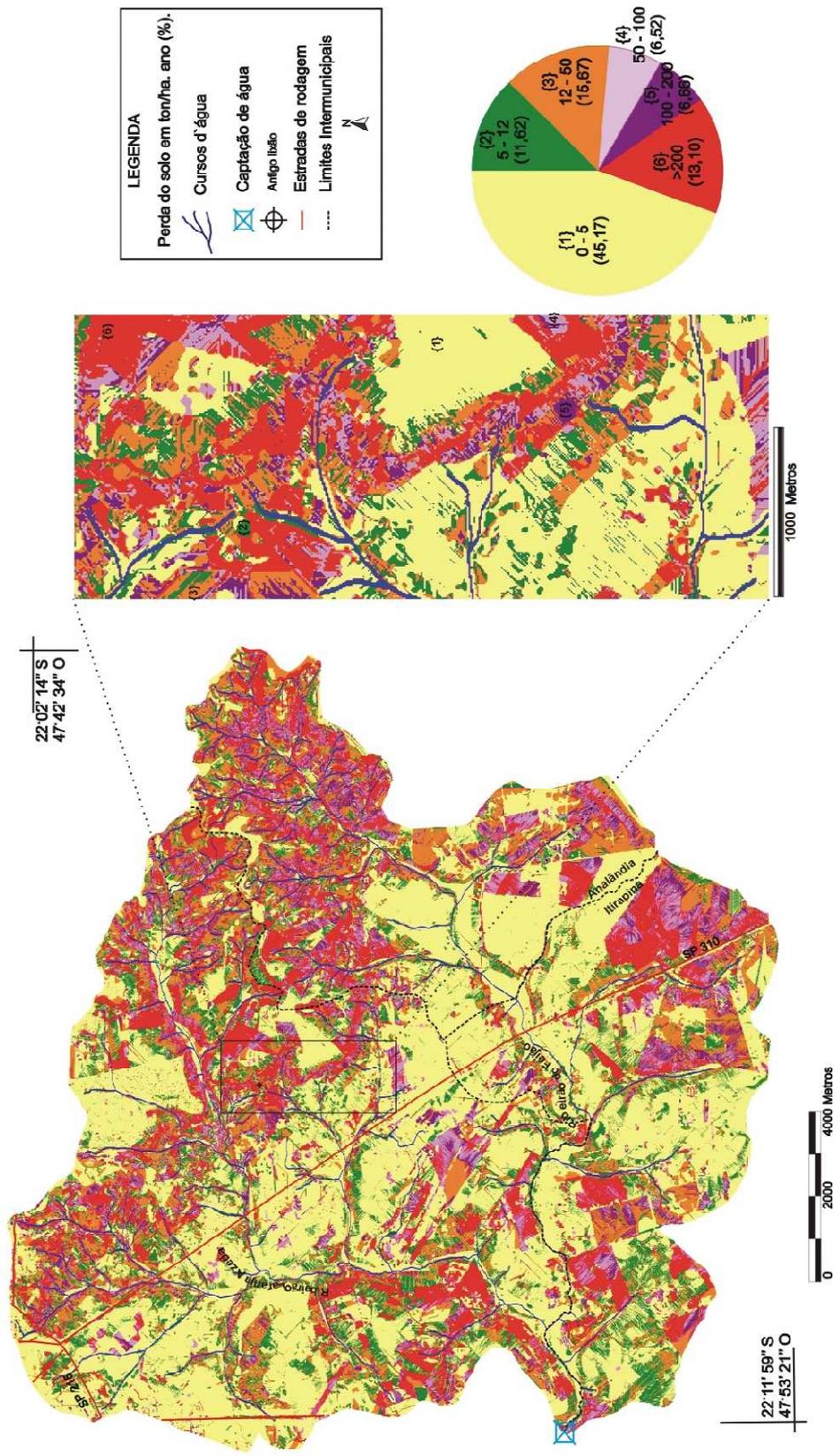


Figura 20 - Cenário 4: EPS com o uso e cobertura atual, considerando APPs em declives superiores a 45° preservadas.

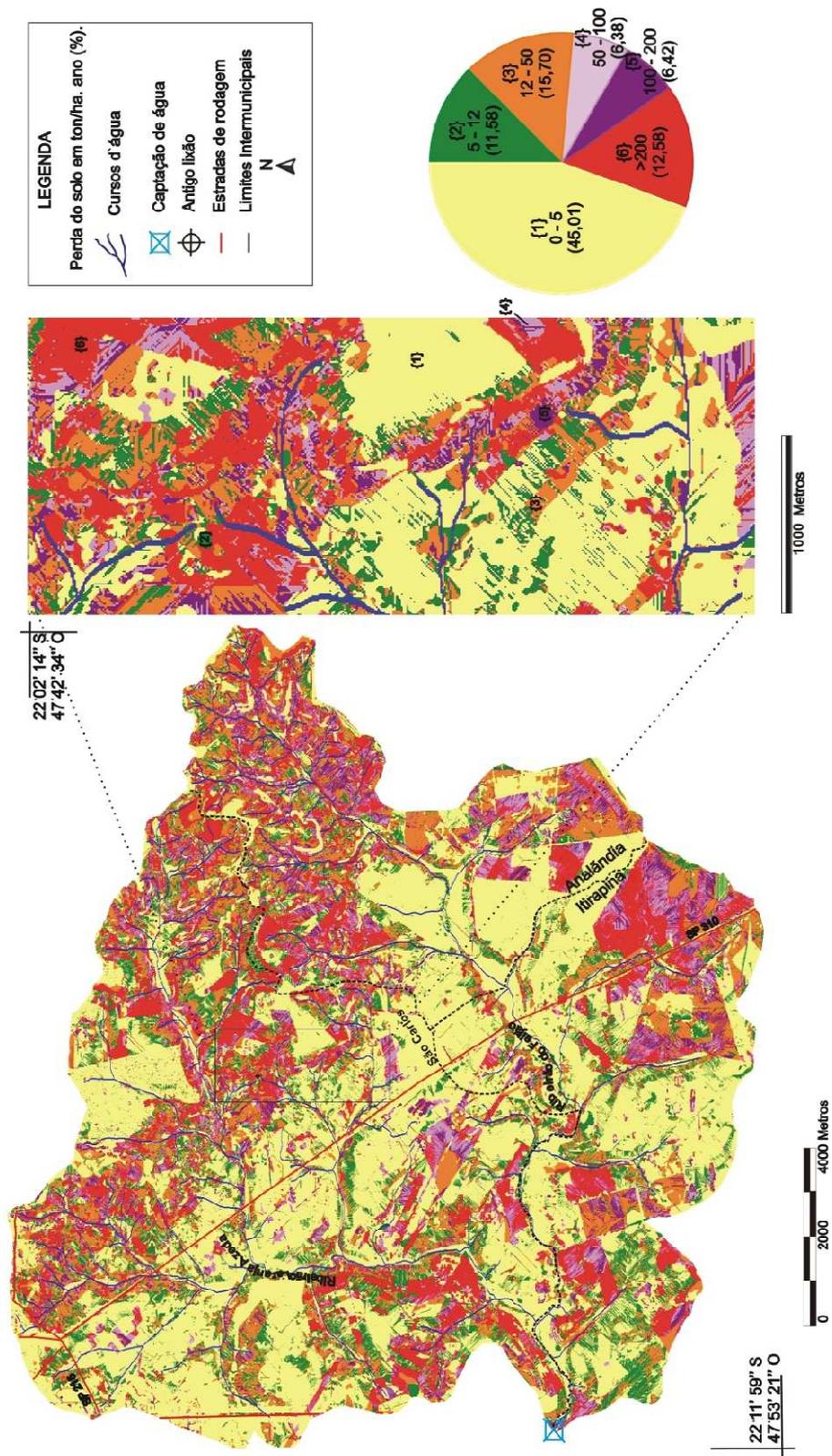


Figura 21 - Cenário 5: EPS com todas as APPs preservadas.

Para efeitos de comparação e conhecimento da importância da vegetação primária, na manutenção de mananciais e ecossistemas, foi simulado o cenário 6, onde considera-se a cobertura total por mata primária que compõem a área de estudo. Os resultados obtidos mostraram, claramente, a essencial e importante função da vegetação primária na minimização da perda de solo em bacias hidrográficas, conferindo uma perda baixa em 100% da área de estudo na faixa de $<5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Isso significa que a cobertura por vegetação tem papel fundamental na redução da EPS (Figura 22).

No cenário 7 (Figura 23), do ponto de vista de carreamento do solo das áreas que foram consideradas críticas pela EUPS, quantidades significativas de compostos que estão associados ao solo, tais como, fertilizantes e agrotóxicos deixarão de ser carreados para dentro dos corpos hídricos superficiais. Contudo, apesar de minimizar os impactos de superfície, possivelmente, em função das altas taxas de permeabilidade dos solos locais, as águas subterrâneas estarão sendo contaminadas. Portanto, verifica-se que a alternativa, apesar da redução de transporte de solo das áreas mais críticas, deverá ser mais bem analisada, em função da percolação das águas que infiltrarão no SAG, via contaminação provocada pelo agronegócio.

Os objetivos para todos os cenários, mostrados na Tabela 10, foram estabelecidos em função de criar comparativos que permitam interpretar a importância e influência de cada variável, dentro do contexto da EPS da BHRF.

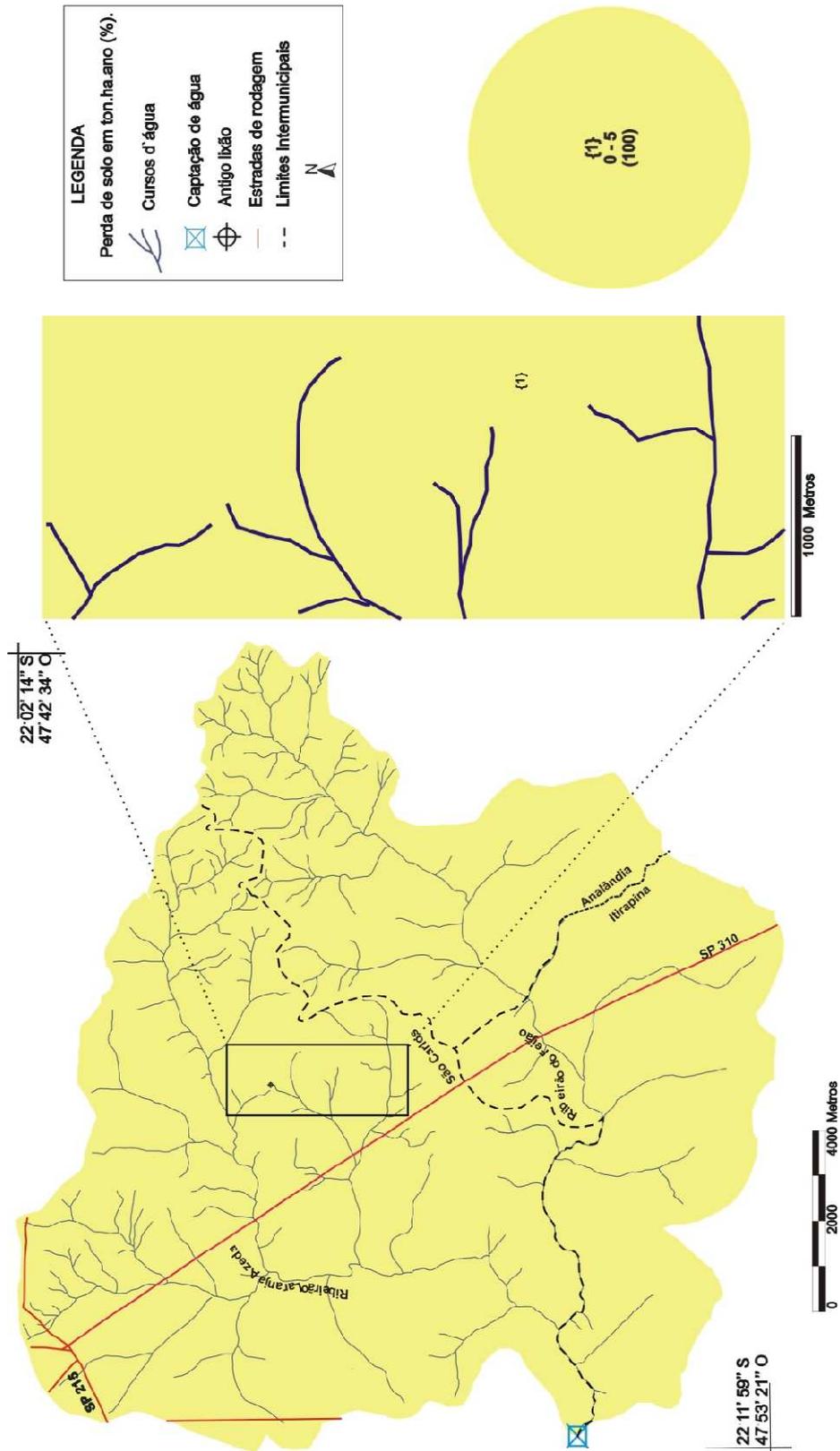
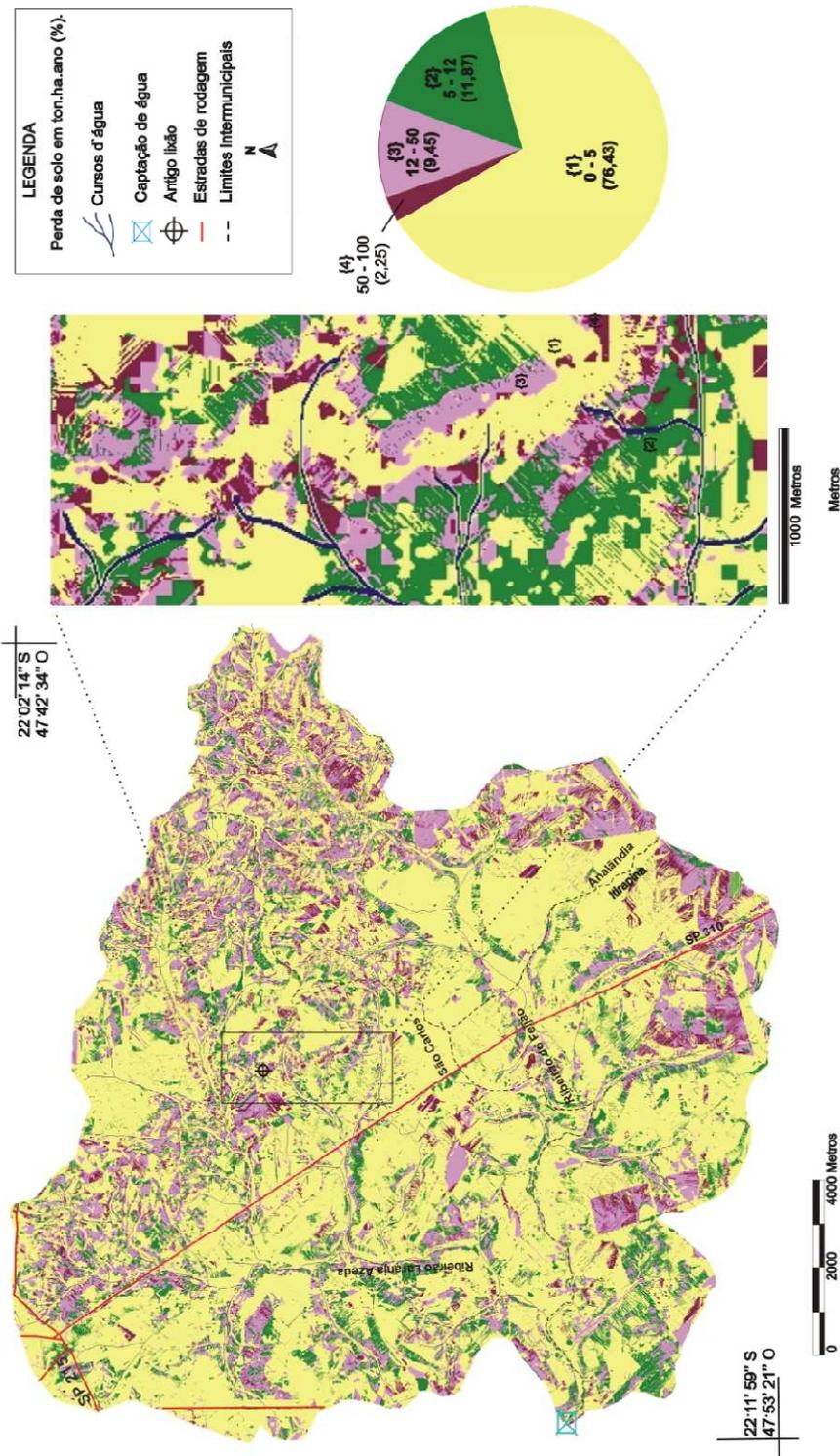


Figura 22 - Cenário 6: EPS com uso e cobertura atual, considerando a mata primária.



NOTA: 1) As condições de recuperação das áreas críticas (EPS com o zoneamento da vulnerabilidade ambiental) consideram vegetação primária como cerrado e APPs
 2) As variáveis ambientais consideradas na elaboração foram: declividade, geomorfologia, geologia, pluviometria, pedologia e uso e cobertura do solo.

Figura 23 - Cenário 7: EPS considerando a recuperação das áreas críticas.

Tabela 10 - Resultado para os setes cenários.

CLASSES DE PNE (t.há ⁻¹ .Ano ⁻¹) (SILVA, 2008)	1 PNE (ha)	CLASSES DE PERDA DE SOLO (t.há ⁻¹ .ano ⁻¹) (IRVEM, et al., 2007)	CENÁRIOS					
			2 %/EPS (ha)	3 %/EPS (ha)	4 %/EPS (ha)	5 %/EPS (ha)	6 %/EPS (ha)	7 %/EPS (ha)
0 - 400 (Muito Baixa)	55,26 (12.289,82)	< 5 (Muito baixa)	45,32 (10.079,17)	45,17 (10.045,81)	46,95 (10.441,68)	45,01 (10.010,22)	100 (22.240)	76,43 (16.998,03)
400 - 800 (Baixa)	15,92 (3.540,61)	5 - 12 (Baixa)	11,87 (2.639,89)	11,62 (2.584,29)	11,77 (2.617,65)	11,58 (2.575,39)	0	11,87 (2.639,89)
800 - 1600 (Moderada)	13,06 (2.904,55)	12 - 50 (Moderada)	6,73 (1.496,75)	15,67 (3.485,01)	15,98 (3.553,95)	15,70 (3.491,68)	0	9,45 (2.101,68)
>1600 (Extremamente Severa)	15,76 (3.505,02)	50 - 100 (Severa)	6,60 (1.467,84)	6,52 (1.450,05)	6,40 (1.423,36)	6,38 (1.418,91)	0	2,25 (500,4)
		100 - 200 (Muito severa)	16,18 (3.598,43)	6,66 (1.481,18)	6,49 (1.443,38)	6,42 (1.427,81)	0	0
		>200 (Extremamente severa)	13,30 (2.957,92)	13,10 (2.913,44)	12,41 (2.759,98)	12,58 (2.797,79)	0	0
Figuras (páginas)	17(pg 48)		18(pg 50)	19(pg 51)	20(pg 52)	21(pg 53)	22(pg 55)	23(pg 56)

Legenda: Nesta tabela está representado o Cenário 1- PNE - utilizou-se para este cenário a classificação de PNE indicada por Silva (2008); Cenário 2- EPS com o uso e cobertura atual; Cenário 3 - EPS com o uso e cobertura atual - considerando APPs ao longo dos cursos d'água e nascentes preservadas; Cenário 4 - EPS com o uso e cobertura atual – considerando APPs em declives superiores a 45° preservadas; Cenário 5 - EPS com o uso e cobertura atual – todas as APPs fundo de vale.; Cenário 6 – EPS considerando toda a área de estudo coberta por mata primária; Cenário 7 - EPS considerando a recuperação das áreas críticas (para os cenários 2 a7 foram utilizados a classificação de IRVEM *et al.*, 2007).

Considera-se importante que, mesmo não se tratando de áreas que não sejam mananciais como a BHRF, estudos com precisões adequadas que permitam analisar previamente o grau de interferência da contaminação superficial sobre os aquíferos devem ser realizados. Esta, via modelos preditivos, seria alternativa às espécies a serem plantadas, propondo limitações de aplicações de produtos químicos sendo, portanto, de grande importância o controle das atividades do agronegócio.

5.2.3 Análise comparativa entre os modelos de zoneamento da vulnerabilidade ambiental e a EUPS

Também, foram simulados testes comparativos entre o modelo que determina a vulnerabilidade ambiental, desenvolvido por ROSS (1994) e aplicado por Cunha *et al.* (2011) e a EUPS. Para o modelo desenvolvimento por ROSS (1994), as variáveis utilizadas foram a

declividade, geomorfologia, geologia, pluviosidade, pedologia e uso e cobertura do solo, com apoio nos índices de dissecação do relevo.

Para a EUPS, as variáveis utilizadas foram erosividade da chuva, erodibilidade do solo, manejo do solo, declividade e comprimento de rampa. Nesse caso, a EUPS foi utilizada como um modelo que determina também a vulnerabilidade ambiental.

O resultado do modelo de ROSS (1994) é mostrado na Figura 24B. Para efeito de comparativo com a EUPS, os resultados foram reclassificados apenas entre estável e instável. Para a EUPS, EPS < 100 e >100 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, foram também consideradas estável e instável, respectivamente. A sobreposição dos zoneamentos das Figuras 24B e 24C possibilitaram resultados comparativos entre os dois modelos que, em apenas 16,4% da área da BHRF houve coincidência e em 13,1% da área não houve coincidência entre ROSS (1994) e EUPS.

Entretanto, apesar de se verificar certa similaridade entre as variáveis, consegue-se observar que a vulnerabilidade apresentou-se em classes diferentes. Para tal, foram cruzadas as classes de maior EPS, com todas as variáveis empregadas, mostrando o quanto, em porcentagem das classes da maior perda, incide em cada uma das variáveis utilizadas, representada na Tabela 11.

Tabela 11 - Porcentagem das classes da maior perda incidente em cada uma das variáveis utilizadas

Tipo de solo	% de risco incidente sobre as classes	Uso do Solo	% de risco incidente sobre as classes
Areias Quartzosa Profundas	26.31	Mata ciliar/encosta	6.03
Solos Hidromórficos	1.62	Urbano	0
Latossolo Vermelho-escuro	1.32	Cerrado	3.91
Solos Neossolos Litólicos	15.02	Reflorestamento	0
Latossolo Roxo	10.54	Solo exposto	50.86
Latossolo Vermelho- amarelo	38.97	Pastagem	2.93
Podzólico Vermelho- amarelo	3.42	Cana-de-açúcar	7.63
Terra Roxa Estruturada	2.8	Laranja	28.64
Total	100		100

Percebe-se que os solos areia quartzosa profunda, em 26,31% , e Latossolo vermelho-amarelo, em 39% , representam classes de risco. Coincide-se com as classes interpretativas indicadas por Carvalho (1994) apud Silva & Alvares (2005), os solos Latossolo vermelho-amarelo e Areias Quartzosa Profundas possuem erodibilidade alta. Quanto ao uso e manejo, o

solo exposto representa classe de risco da bacia em 50,84%, seguidos pelas classes de culturas da Laranja 28,64% e pela cana-de-açúcar 7,63%, isso prova como o agronegócio interfere na bacia, que é essencial como manancial.

Também com Ross (1994), como é mostrado na Figura 25 da EPS da EUPS, na Figura 25C, com intervalos de EPS >50 e $<50 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, considera intervalos estável e instável. Nesta sobreposição, verificou-se que houve uma pequena ampliação para 17% da EPS, coincidente com a vulnerabilidade ambiental e também uma redução para 12% de não coincidente com a vulnerabilidade ambiental. Comparando os resultados entre as Figuras 24 e 25, em suma, apesar de mantidas as classes de fragilidade obtidas por Ross (1994), e ter restringido de 100 para $50 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ou seja, aplicando a faixa de EPS como instável de 29% para 36%, as coincidências entre os modelos de Ross (1994) e EUPS.

Também foram simulados mais dois casos, como mostram as Figuras 26 e 27, considerando a EPS > 50 e $<50 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e >100 e $<100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, mas observando os resultados, que na classe instável entraram o moderadamente estável e o instável, instável e instabilidade emergente. Isso tornou o modelo de Ross (1994) mais conservador. No primeiro caso (Figura 26), quando sobreposto ao EPS com $>100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, verifica-se que a coincidência entre EPS e Ross foi de 11,90% e a não coincidente foi de 15,6%.

No segundo caso (Figura 27), quando sobreposto ao EPS como $>50 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, verifica-se que a coincidência entre a EPS e Ross (1994) foi de 13,42% e a não coincidência foi de 14,06%. Efetivamente, ambos os casos, depois de utilizar o critério do estável e do instável em Ross (1994), tornou o modelo mais conservador que a EUPS. A Figura 28, expressa de forma detalhada as Figuras 24, 25, 26 e 27.

Como pode ser observados nos recortes da Figura 28, com as variáveis LS, uso e cobertura do Solo, EPS e o Zoneamento da vulnerabilidade ambiental por ROSS (1994). Por eles é possível observar que o LS, junto com o uso e a cobertura do solo tem grande influência na EPS, mesmo em locais onde predominam cobertura com vegetação com mata ciliar, reflorestamento e cerradão a EPS foi elevada em função do alto LS.

Mediante os resultados obtidos pelo presente trabalho, fica nítida a importância que os estudos de perda de solo, quando integrados ao planejamento de bacias hidrográficas, tem sobre a compreensão da função de ecossistemas, da preservação de mananciais, do planejamento urbano e rural. Pode-se dizer que a associação de técnicas de geoprocessamento e modelos de predição de erosão hídrica - nesse caso a EUPS - possibilitam a previsão de

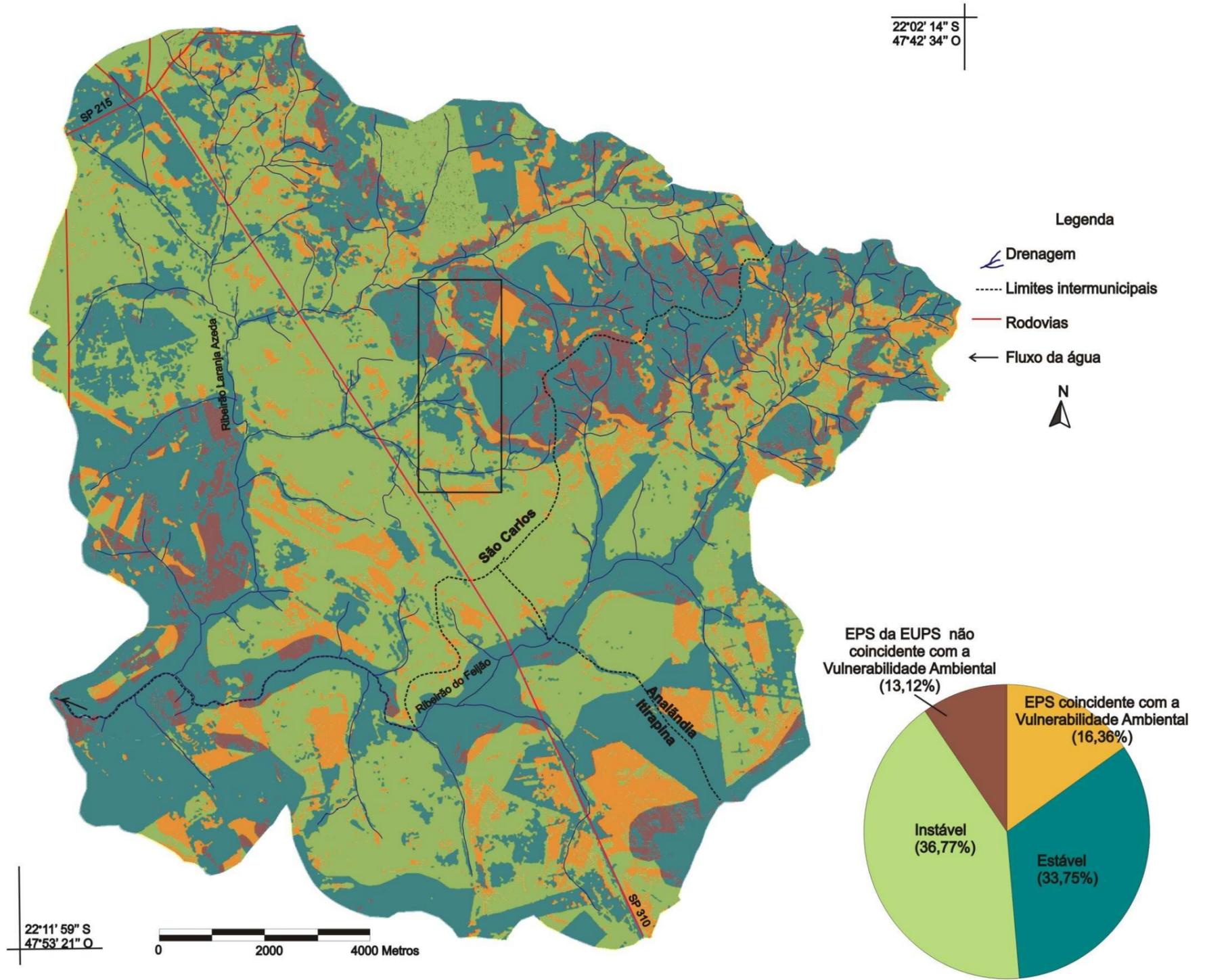
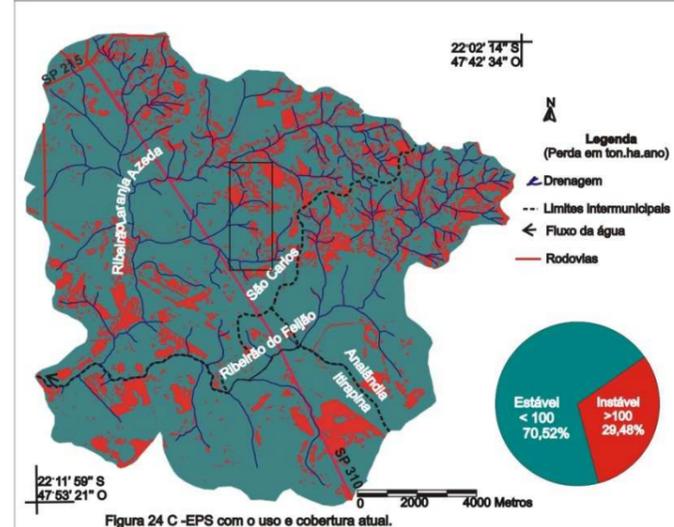
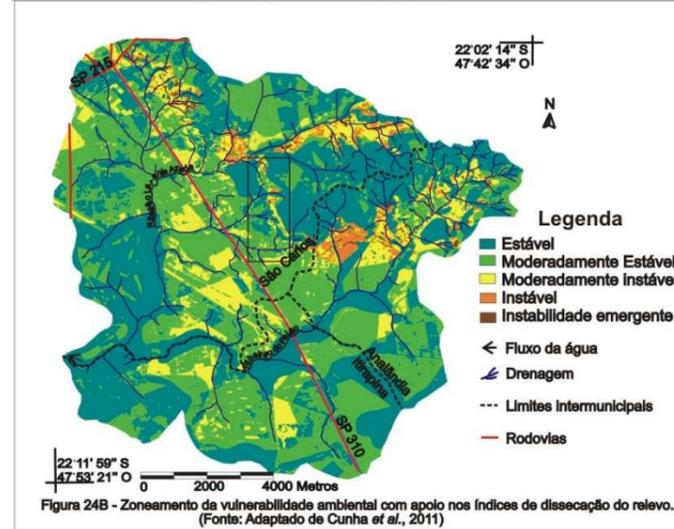
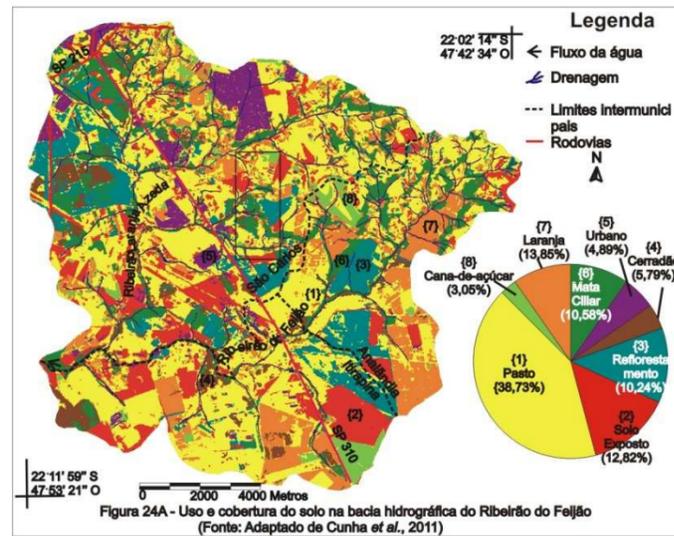


Figura 24 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS da EUPS e Uso e Cobertura Atual.

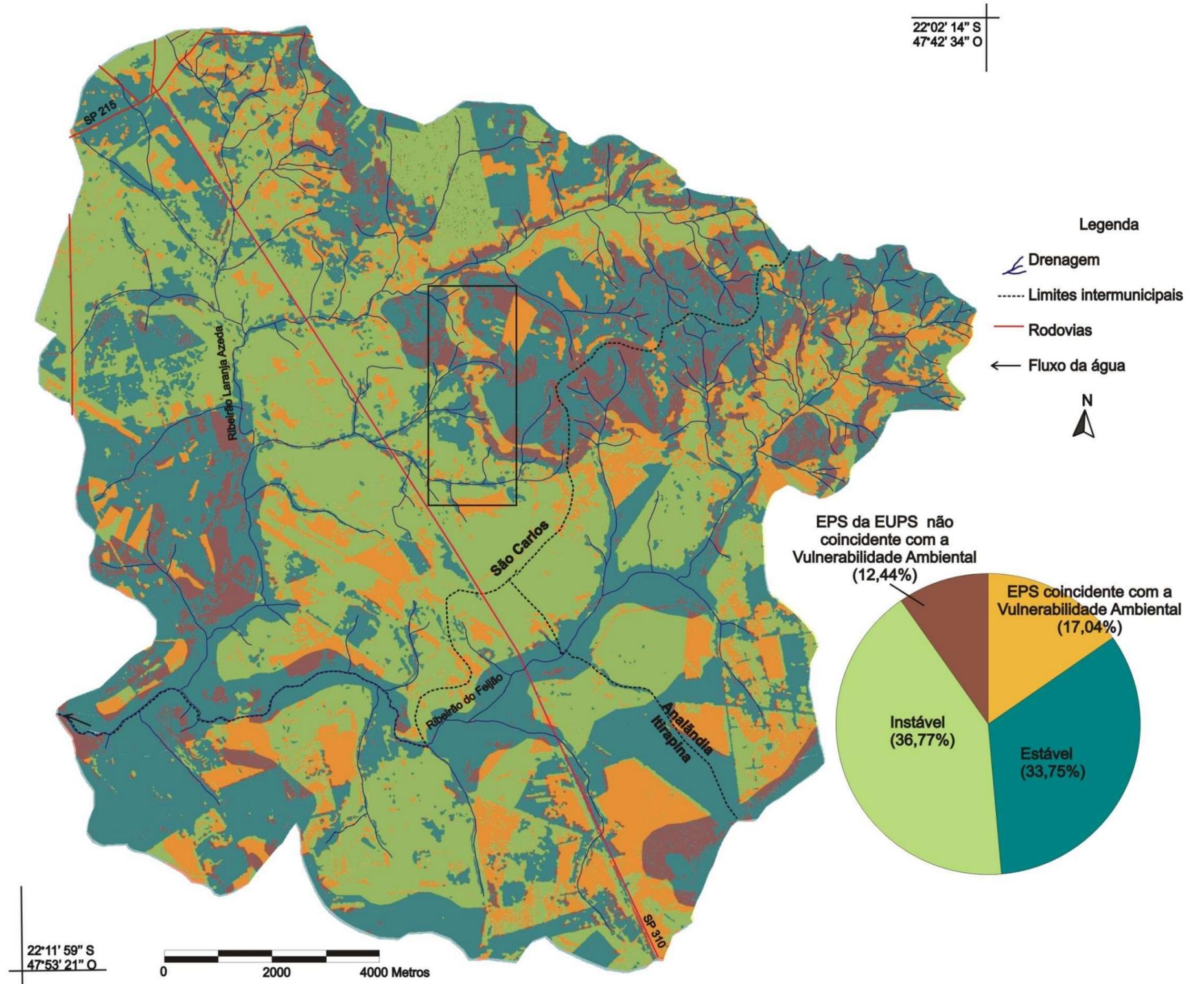
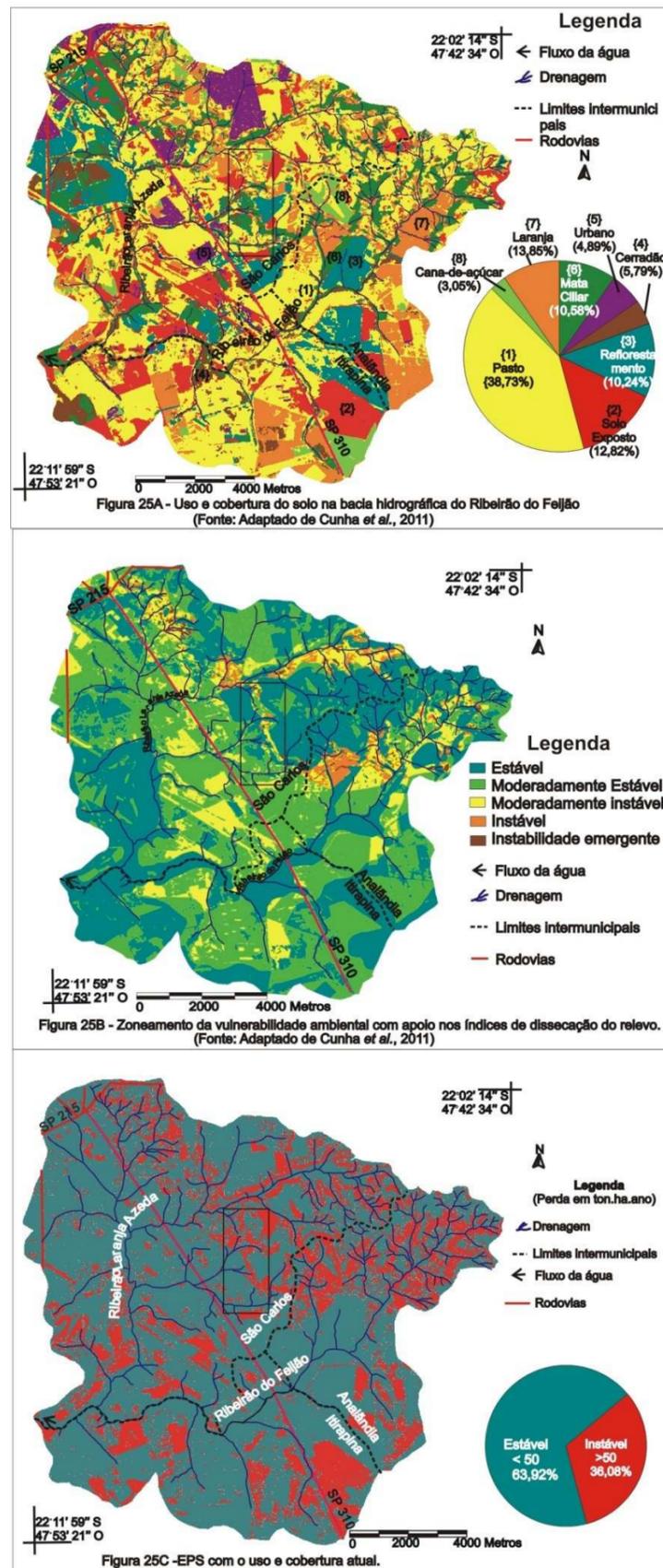


Figura 25 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS da EUPS e Uso e Cobertura Atual.

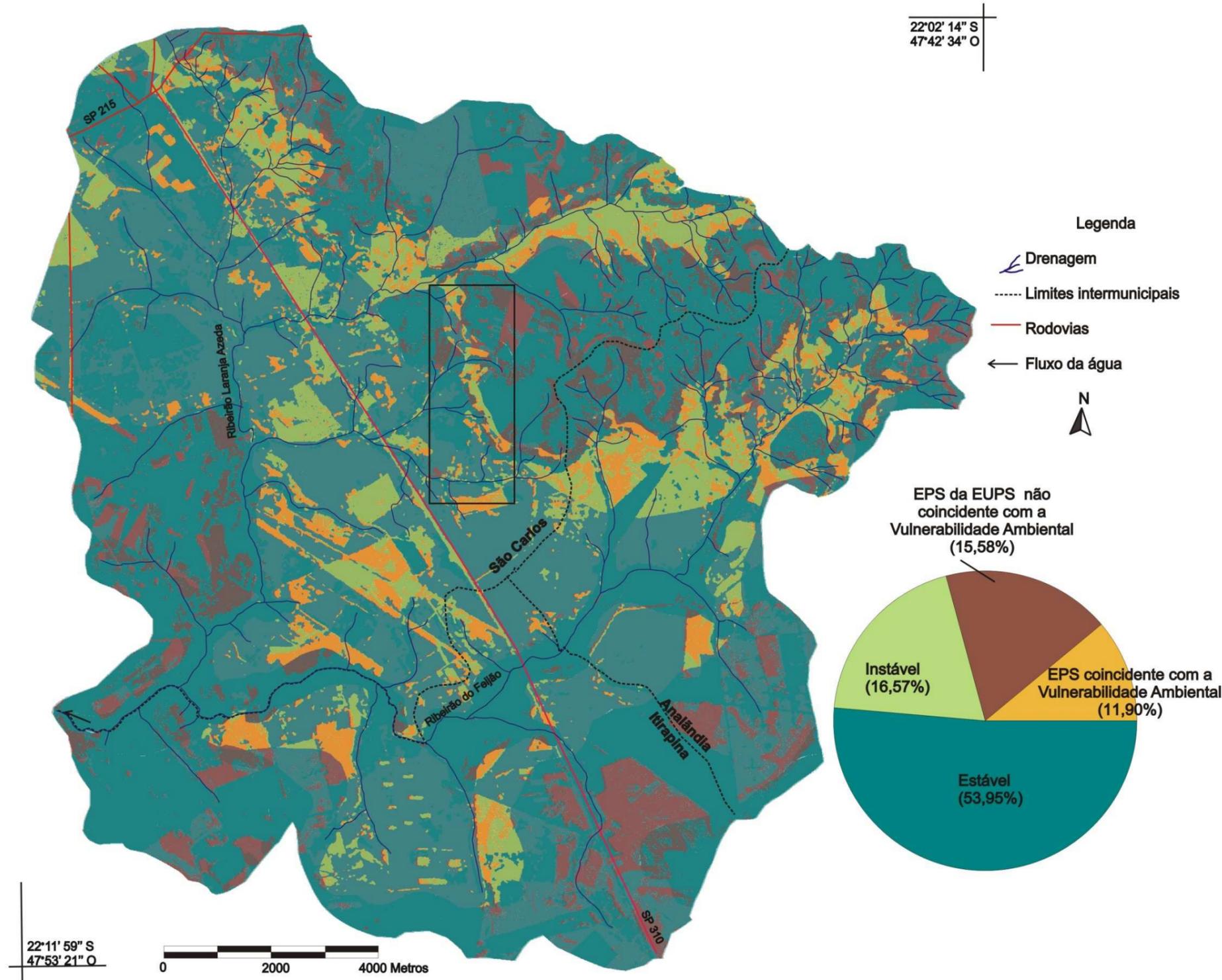
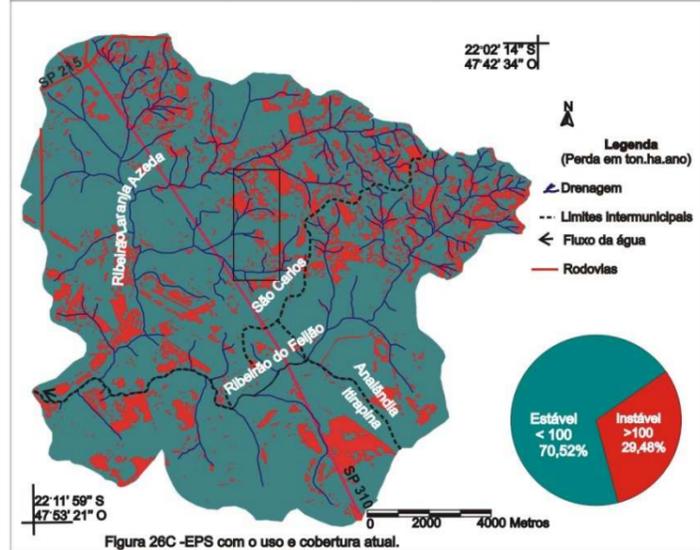
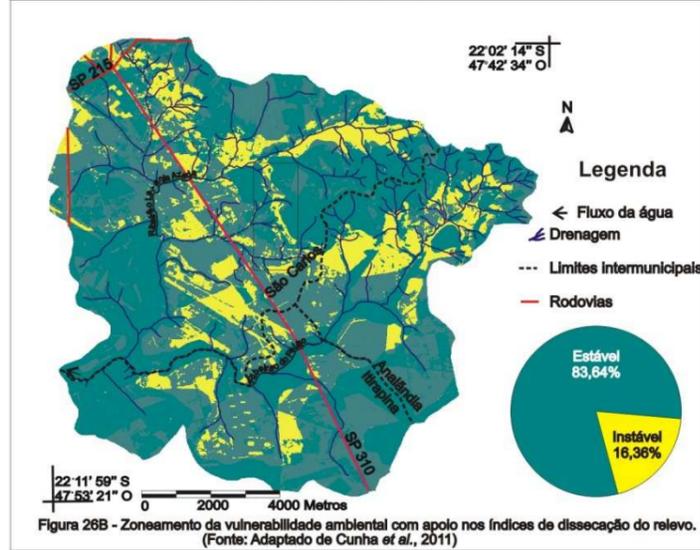
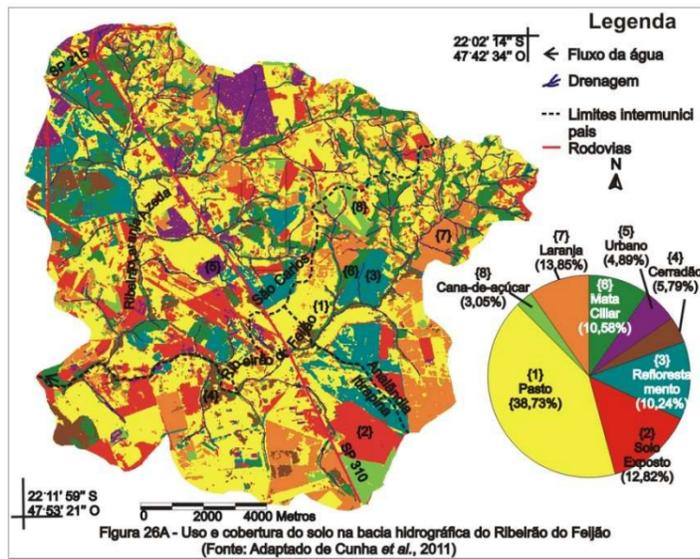


Figura 26 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS da EUPS e Uso e Cobertura Atual.

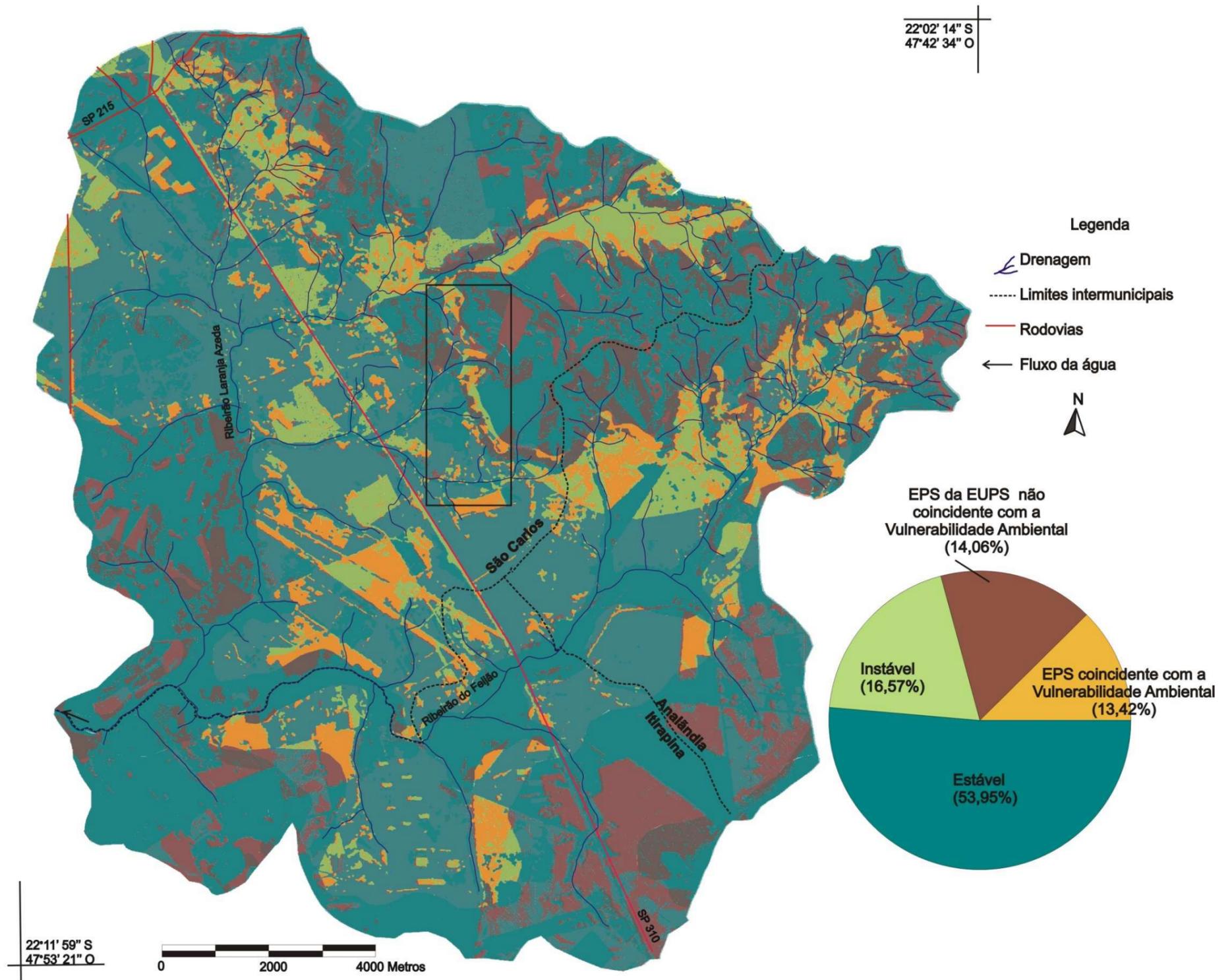
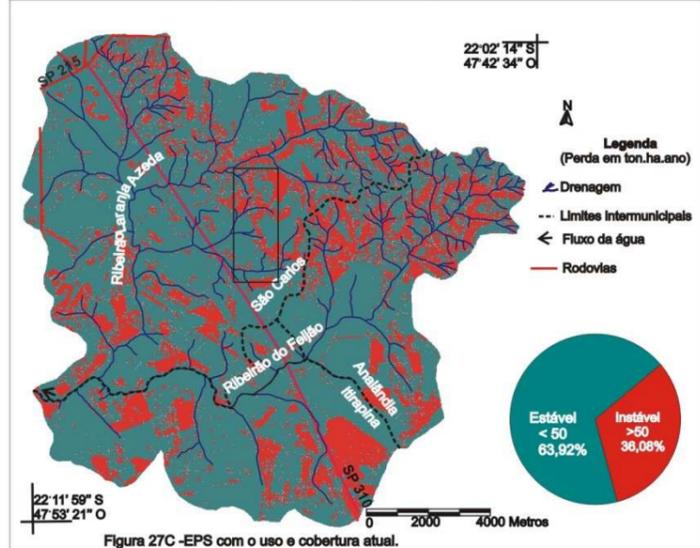
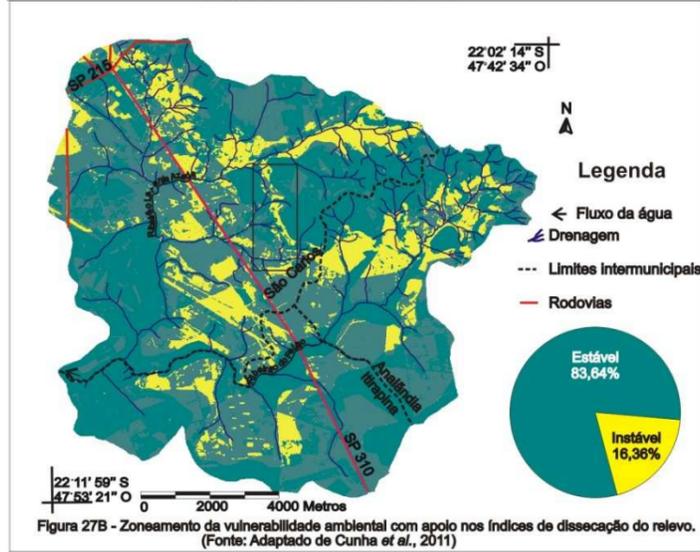
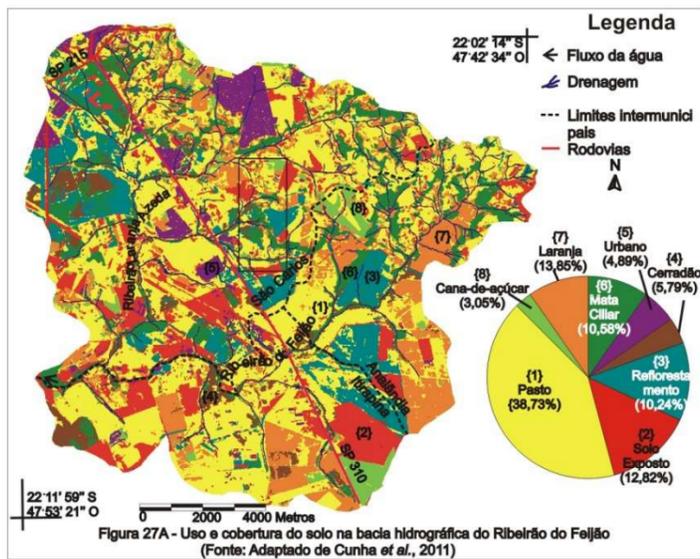
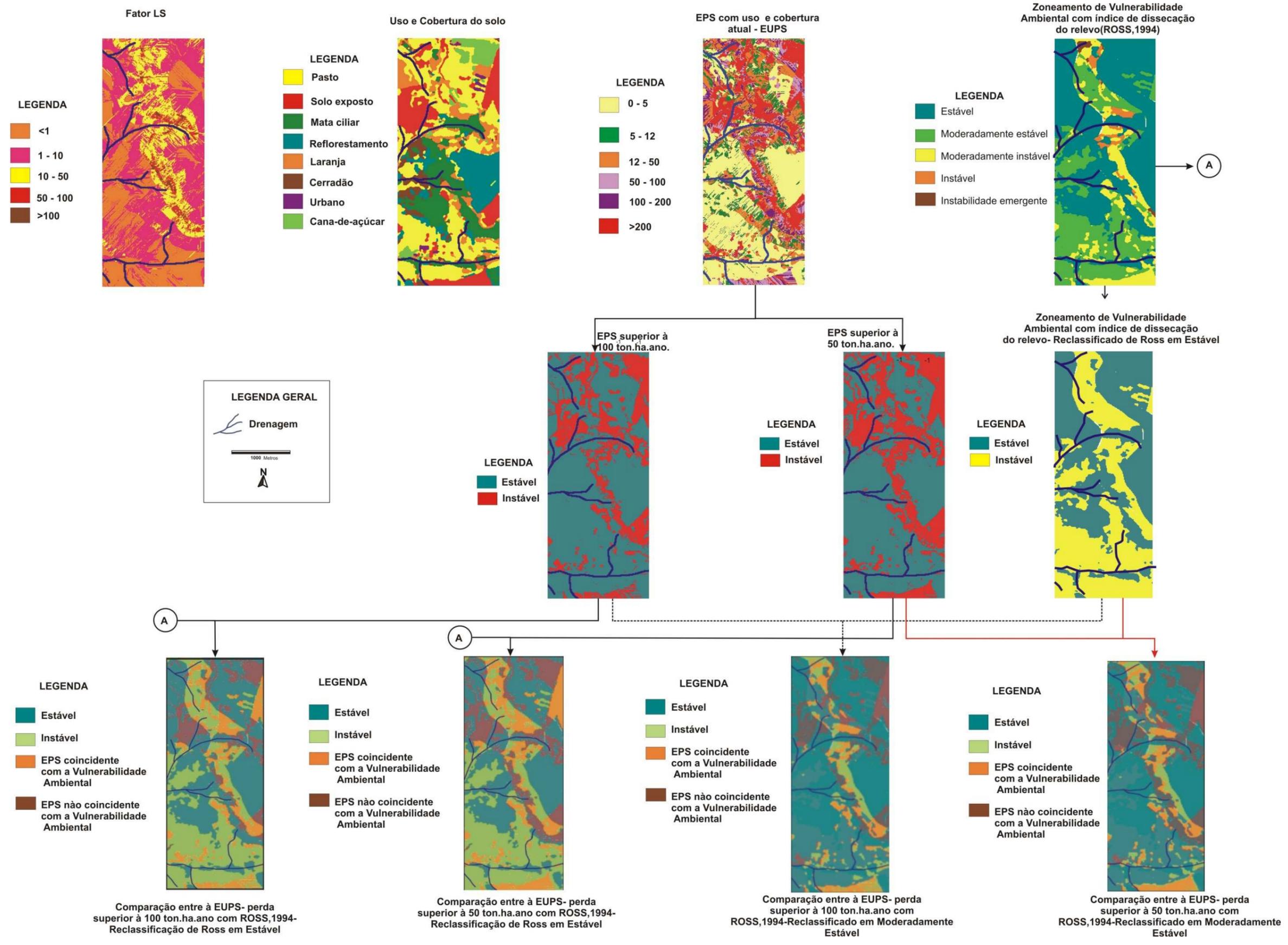


Figura 27 - Comparação entre o Zoneamento de Vulnerabilidade Ambiental com apoio nos índices de dissecação de relevo com a EPS da EUPS e Uso e Cobertura Atual.



perdas de solo, fornecendo subsídios para a seleção de práticas de controle, adoção de medidas pontuais, planejamento ambiental e priorização de ações de pesquisa.

A cobertura vegetal é determinante na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos e, também, considera-se destacadamente a grande importância que tem o planejamento de uso do solo integrado aos demais instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos para manejo de bacias hidrográficas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram analisados os instrumentos legais, sobre APPs, os quais esclarecem a sua importância dentro da bacia hidrográfica. Tais áreas foram determinadas, conforme a legislação vigente.

Na BHRF, foram aplicados cenários que determinam a EPS, por meio da EUPS. Estes cenários consideram as APPs e o uso e cobertura do solo com base na imagem de 2006. Os cenários das EPS mostraram que as APPs têm importância fundamental na redução do processo de erosão e melhoria da qualidade da água na BHRF, quando comparada a EPS, que considera a cobertura total da BHRF com a vegetação primária.

Foram realizadas uma comparação entre os modelos EUPS e o proposto por Ross (1994). Os resultados mostram que a EUPS apresenta-se mais restritiva que Ross (1994), quando considerados como um zoneamento de vulnerabilidade ambiental quando considera intervalo de perda de solo $>50 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Contudo, quando o modelo de Ross (1994) é reclassificado, considerando-se apenas estável e instável, a partir de moderadamente estável, ele torna-se mais restritivo do que a EUPS.

Também, a pesquisa demonstrou que é viável considerar a EUPS como um modelo desde que, resguardadas as devidas precauções na correta interpretação dos parâmetros utilizados.

E, ainda, conforme as deliberações do novo Código Florestal é imprescindível que a criação das novas normas estejam respaldadas no conhecimento científico, quanto às características específicas apresentadas por cada bioma, de forma a definir limites e restrições de uso adequados. Destaca-se que, a exemplo dos resultados obtidos pelo presente trabalho, não se deve flexibilizar as restrições apresentadas pela legislação vigente, pois a redução dos limites das APPs acarretará perdas ainda maiores de solo (PAES *et al.*, 2010).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As bacias hidrográficas que servem como mananciais são consideradas lugares vitais para a manutenção, em longo prazo, da diversidade biológica, solo, água e outros recursos naturais locais e regionais. Por isso, algumas recomendações são colocadas para proteger e recuperar a bacia hidrográfica em estudo, tais como:

- Que a análise de qualidade da água seja trabalhada em alguns pontos da bacia, para que se verifique como a perda de solo e a turbidez influenciam na qualidade de água;
- Adoção de práticas conservacionistas, que visam diminuir a intensidade do processo de erosão, que fundamentam-se na recuperação e/ou manutenção da cobertura do solo adequada;
- Entre as práticas conservacionistas básicas, recomenda-se para a pastagem a adoção de boas práticas de manejo, com o plantio de leguminosas, em consórcio com gramíneas, que melhoram a qualidade da forragem para o gado, além de fornecer nitrogênio e rotação de pastos; pasto com alta produtividade, para produzir mais em uma área menor, e o não uso de fogo. A adoção dessas práticas é fundamental para o controle da erosão;
- Áreas de reserva legal, que são áreas no interior da propriedade ou posse rural, que deve ser mantida com a cobertura vegetal nativa, seja de floresta ou outras formas de vegetação, por ser necessário o uso sustentável, por meio de agrofloresta;
- Como a bacia em estudo é área de recarga, o sistema orgânico de produção, com suas práticas e formas de manejo alternativas ao sistema convencional, objetivando a sustentabilidade econômica e ecológica dos agroecossistemas, revela o melhor desempenho em termos de qualidade do solo e água, sendo o ideal;
- Além do sistema orgânico, a utilização dos terraços em nível irá reter a água no terreno, facilitando a infiltração, além de controlar a erosão, pois esses terraços são importantes para regular a vazão dos rios e aumentar a disponibilidade de água no manancial;
- Incentivar a criação de áreas protegidas, seja de domínio público ou privado, sendo uma das estratégias mais efetivas para a preservação da bacia do Ribeirão do Feijão. Através das RPPNs (Reserva Particular do Patrimônio Natural), os proprietários particulares associam-se ao esforço de preservação, fortalecendo os corredores ecológicos, proteção de nascentes e cursos d'água, de entorno de lagoas e represas; colaboração no controle climático e na purificação da atmosfera; e contenção de erosão em morros e encostas. Além desses aspectos, as RPPNs podem representar uma fonte geradora de emprego e renda para seus proprietários,

moradores e comunidade do entorno. Entre as atividades que podem ser desenvolvidas numa RPPN estão a visitação pública controlada, com finalidade educativa e ecoturística, observação da fauna e da flora e pesquisas científicas. Os proprietários também têm direito à isenção de impostos, reconhecimento da sociedade, poder Público e imprensa, facilidade de acesso aos fundos de apoio à implantação e gestão, e apoio de instituições de conservação e pesquisa;

- A conservação e recuperação das matas ciliares irá favorecer os recursos naturais, entre eles, o manancial. A mata ciliar previne erosão e assoreamento, mantém a capacidade original de escoamento dos leitos, controla o aporte de nutrientes, de produtos químicos tóxicos e de outros sedimentos aos cursos de água, diminui a eutrofização, atua também na preservação da fauna e da flora e, por último, facilita a infiltração da água da chuva no solo.

- Pedro & Lorandi (2004) avaliaram a área urbana e periurbana de São Carlos, abrangendo o manancial do Ribeirão do Feijão. Segundo os autores, nestas áreas deveriam ser estabelecidos programas de combate, controle e prevenção da erosão, que não descartassem a possibilidade de adoção de novas alternativas menos intensivas de uso. Neste estudo, verificou-se que a região Noroeste apresenta menores riscos de erosão, enquanto que as regiões Sudoeste e Sudeste apresentam riscos elevados, sendo mais desfavoráveis para urbanização.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORE, E; MODICA, C.; NEARING, M.A.; SANTORO, V.C.. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. **Journal of Hydrology**, v. 293 p.100– 114, 2004.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editor Ícone, 2. ed., p 335, 1990.

BESKOW, S; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.;CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C.. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79 p. 49–59, 2009.

BRASIL. **Novo Código Florestal, Lei nº 12.651**. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 31 mar. 2013.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 302**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno, Brasília, DF, 20 de março de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 303**. Dispõem sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, Brasília, DF, 20 de março de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 369**. Dispõem sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente, Brasília, DF, 28 de março de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

BROWN, G; WEBBER, D. Public Participation GIS: A new method for national park planning. **Journal Landscape and Urban Planning**,v.102, p.1-15, 2011.

CÂNDIDO, A. K. A. A; SANTOS, J. W. M. C. Mapeamento das áreas com solos com alto potencial de erosão na área da bacia do rio Manso - MT. **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá**, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 747-755, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, p. 372, 1994.

CEPAGRI- CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em

< http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html > Acesso em: em 31mar.2013.

CHAVES, H. M. L.. Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. Relatório final de Consultoria. CODEVASF/FAO, Brasília. 1994.

CHEPAK, M. F. A. **Atlas Geográfico do Município de Pinhais**: subsídios para a Educação Ambiental, valorização sócio ambiental do município, 2008.

COSTA, C. W. Expansão da mancha urbana e suas conseqüências sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, SP. **Geociências** (UNESP), 2012.

COSTA, C.W.; DUPAS, F. A.; PONS N.A.D. Regulamentos de Uso do Solo e Impactos Ambientais: Avaliação Crítica do Plano Diretor Participativo do Município de São Carlos, SP. **Geociências** (UNESP), v. 31, n. 2, p. 143-157, 2012.

COTA, M. de A. **Áreas de Preservação Permanente (APPs): as resoluções CONAMA e o papel das técnicas de Geoprocessamento na delimitação das classes de prevenção**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p.124, 2008.

CUNHA, R. C; DUPAS, F. A; TUNDISI, J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. 2011. **Geociências** (UNESP).

DAEE. DEPARTAMENTO DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA. **Projeto de proteção e desenvolvimento sustentável do sistema Aquífero Guarani**. In: Memória, Seminário Aquífero Guarani. Ribeirão Preto, 2003.

DAEE. DEPARTAMENTO DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Serviço Geológico do Brasil, São Paulo, 2005.

DESMET, P.J.J; GOVERS, G. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Des Moines, v.51, n.5, p.427 – 433, 1996.

DI GREGÓRIO, A. **Land cover classification system (LCCS)**, version 2: classification concepts and user manual. Rome: FAO, 2004.

DUTRA, K. R; TEIXEIRA, E. C; MENDONÇA, A. S. F. Determinação da Estimativa de perda de solo por erosão superficial em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas – SIG. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental** – ABES, 1997.

EASTMAN, J. R. **Manual do Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. UFRGS/ Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, p. 245, 1998.

EMBRAPA- Empresa brasileira de agropecuária. Disponível em : <http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=243&func=unid>. Acesso em 25jul.2013

ESPINDOLA, G. M; AGUIAR, A.P.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Journal Applied Geography**, v. 32, p. 240-252, 2011.

FARINASSO, M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, n.2, p.73-85, 2006. Disponível em:<<http://www.ugb.org.br/artigos>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

FOSTER, G. R; WISCHMEIER W. H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Trans. ASAE**, v.17: 305-309, 1994.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil.2003.

HAINES-YOUNG, R. Land use and biodiversity relationships. **Land Use Policy**, 2009.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta pedológica da quadricula de São Carlos**. Folha SF.23-Y-A-I. Escala 1:100.000. 1981.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta pedológica da quadricula Descalvado**. Folha SF.23-V-C-IV. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas, 1982.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas topográficas**. Folhas SF 23-Y-A-I-1, SF-23-Y-A-I-2, .Escala 1:50.000. 1971.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia> >. Acesso em: 25 mar. 2012.

IRVEM, A; TOPALOGLU, F; UYGUR, V. Estimating Spatial Distribution of Soil Loss Over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, p.30– 37, 2007.

JEBARI, S.; BERNDTSSON, R.; OLSSON, J. ; BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. **Journal of Hydrology**,v 436–437. p.102–110, 2012.

V. JÚNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; FILHO, M. V. M; et al. Potencial De Erosão da Bacia do Rio Uberaba. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.897-908, set./out. 2010.

P. JUNIOR, O. R.; **Material de Apoio – Textos**. Texto disponível em http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt6.html. Acesso em: 25 nov. 2012.

KINNELL, P.I.A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. **Journal of Hydrology**, 2010.

KRASA, J.; DOSTAL, T.; VRANA, K.; PLOCEK, J. Predicting spatial patterns of sediment delivery and impacts of Land-use scenarios on sediment transport in Czech catchments. **Land Degradation & Development**, v. 21, 367–375.2010.

LESSCHEN, J.P; KOK, K; VERBURG, P.H; CAMMERAAT, L.H. Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. **Catena**, v. 71p. 110–121, 2007.

LOMBARDI NETO, F; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas. **SP. Bragantia**, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

LÓPEZ-VICENTE, M.; POESEN, J.; NAVAS, A.; GASPAR, A. Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees. **Catena**, 2011.

LUZ, F. G. F. “**Áreas de Proteção Permanente e sua capacidade de assistir aos corpos d'água - Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes, 2012.

MACHADO, M. L; ALVES, J. S; GOMES, I; VIEIRA, E. M; SIMÃO, M. L. R; NAIME, U. J. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). Anais **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 7733-7739, 2009.

MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. **Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.4, p. 537-545, abr. 2007.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F.F.. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.2, 88-88 92, Abr./Jun, 2006.

NISHIYAMA, L. Mapeamento **geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos** – SP. Dissertação (Mestrado) – Geotécnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Instituto Agrônomo de Campinas, 188p Campinas, 1984.

OLIVEIRA, P.T.S; SOBRINHO, A.T; RODRIGUES D.B.B; PANACHUKI, E. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resource Management**, v. 25:1021–1036. 2011.

OÑATE-VALDIVIESO, F.; SENDRA, J.B. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, v. 395, p. 256–263, 2010.

PAES, F. S; DUPAS, F. A; SILVA, F. G. B; PEREIRA, J. C. D. Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v.29, no.4, p.589-601, 2010.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos- SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 56/01, 2004.

PERRONI, J.C.A.; WENDLAND, E.C. Avaliação das Condições de Ocorrência e Exploração do Sistema Aquífero Guarani em São Carlos SP. **Águas Subterrâneas**, v.22, n.01, p.13-24, 2008

PIMENTA, M.T. **Diretrizes para a aplicação da equação universal de perdas dos solos em SIG: fator de cultura C e fator de erodibilidade do solo K**. [s.l.]: INAG/DSRH. 1998.

PRADO, F. A. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográfica, Faculdade De Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente/SP. 2009.

PRASANNAKUMAR, V.; SHINY, R.; GEETHA, N.; VIJITH, H. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. **Journal Environ Earth Sci.**, 2011.

RANZI, R.; *et al.* A RUSLE approach to model suspended sediment load in the Lo river (Vietnam): Effects of reservoirs and land use changes. **Journal of Hydrology**, v. 422–423, p. 17–29, 2012.

ROSS, J.L.S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia – DG-FFLCH-USP**. São Paulo, n° 8, p. 63-74, 1994.

SAAE. SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO, SP. **A rede de água de São Carlos**. Disponível em: <<http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/redeagua.htm>>. Acesso em: 08 dez. 2012.

SÃO PAULO, **Lei Estadual nº 10.780**. Dispõe sobre a reposição florestal no Estado de São Paulo e dá outras providências. São Paulo, SP, 9 de março de 2001. Disponível em: <http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/repositorio/etmc/lei_10780_01.htm>. Acesso em: 25 mar. 2012.

SÃO PAULO, **Decisão de Diretoria nº. 148/2010/L**, de 11-5-2010. Dispõe sobre a orientação para a demarcação da área de preservação permanente de topo de morros, montanhas e linhas de cumeadas, definida na alínea "d" do artigo 2º da Lei Federal 4771/65 e normatizada pela Resolução CONAMA 303/02, e dá outras providências. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/estadual/decisao/2010_Decisao_Diretoria_CETESB_148.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2012.

SÃO CARLOS, **Lei Nº 13.944**. Dispõe sobre a Criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM e dá outras Providências. São Carlos, SP, 12 de dezembro de 2006. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/legislacaourbanisticamunicipal/lei13944.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

SANTOS, S.B. **Análise do uso e ocupação do solo de Áreas de Preservação Permanente utilizando ferramentas de SIG na gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica de São Lourenço**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, p. 84, 2007.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Dados de população. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=tabela>>. Acesso em: 20jan.2013.

SILVA, V. C. Estimativa Da Erosão Atual da Bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34 (3): 147-159, 2004.

SILVA, A. M. Potencial Natural de Erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 8, n. 1, p.5–14. 2008.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do arroio pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento**. Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Geografia, 2009.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Revista Geociências**, São Paulo, v.24, n.1, p. 33-41, 2005.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo com o uso de aplicativo informatizado compatível com software de geoprocessamento. **Revista FatorGIS**, 9p., 2003.

STAVI, I.; LAL, R. Variability of soil physical quality in uneroded, eroded, and depositional cropland sites. **Geomorphology**, v. 125, p. 85 a 91, 2011.

TEIXEIRA, U. C.; SILVA, A. B. Procedimentos Metodológicos para elaboração do mapa do fator L*S da equação universal de perda de solo (EUPS) utilizando sistemas de informações geográficas (SIG). RBGF. **Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE**, v. 2, n.03, set-dez, p. 83-89, 2009.

TERRANOVA, O.; ANTRONICO, L.; COSCARELLI, R.; IAQUINTA, P. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). **Geomorphology**, v.112, p.228–245, 2009.

WCD. Dams and Development. **A New Framework for Decision-Making**. Earthscan Publications Ltda., London, 356pp.2000.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.32:801- 814. 2008.

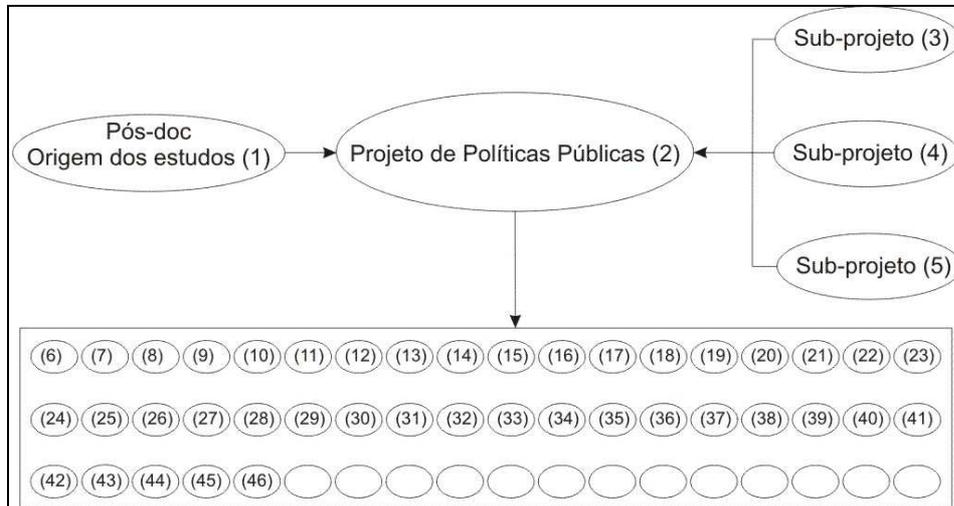
WISCHMEIER, W.C.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. **Agricultural Handbook**, N°. 537. US Dept Agric., Washington, DC, 1978.

ZHANG, R.; LIU, X.; HEATHMAN, G.C.; YAO, X.; HU, X.; ZHANG, G. Assessment of soil erosion sensitivity and analysis of sensitivity factors in the Tongbai–Dabie mountainous area of China. **Catena**, v.101, p. 92–98, 2013.

ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. . Dissertação (Mestrado) – Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

ANEXO I

Histórico dos estudos já realizados desde 1997 na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, com financiamento da FAPESP, CNPq e Fapemig.



() Artigos, Relatórios de Projetos, doutorados, dissertações, iniciações científicas com apoio da Fapesp, Fapemig, CNPq e Capes na forma de bolsas e auxílio financeiro utilizando São Carlos (SP) como área de estudo e demais trabalhos.

- (1) até (12) Já concluídos até 2007 durante a vigência do projeto.
- (13) até (31) Já concluídos e em andamento após a vigência do projeto em 2007.
- (32) até (46) Já concluídos e em andamento - trabalhos correlatos fora da cidade de São Carlos.

TRABALHOS CONCLUÍDOS DURANTE A VIGÊNCIA DO PROJETO – ATÉ 2007.

(1) DUPAS, F. A. (2001). **“Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP”**. Relatório de pós-doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. UFSCar, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg.

(2) TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A.; SILVA-SOUZA, A. T.; SHIBATTA, O. A. (2007). **“Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural”**. Relatório final de projeto de pesquisa FAPESP de Políticas Públicas proc. 98/10924-3. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 95 pg.

- (3) SUB-PROJETO (2007). **“Diagnóstico e prognóstico da qualidade da água dos rios que compõem as bacias hidrográficas do município de São Carlos (SP) relacionados com uso e ocupação do solo”**, Proc. 98/10924-3.
- (4) SUB-PROJETO (2007). **“Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão”**, Proc. 98/10924-3. Relatório de Pós doutoramento da SILVA-SOUZA, Ângela Teresa.
- (5) SUB-PROJETO (2007). **“Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão”**, Proc. 98/10924-3.
- (6) MOLINA Jr., V. E. (2003). **“Recursos Hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP - Estudo multitemporal”**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:–. processo n. 01/02562-9, 104 pg.
- (7) POLI, M. N. (2004). **“A geografia do espaço vivido: Análise do uso social do solo urbano - estudo de caso na cidade de São Carlos, SP”**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:–. processo n. 01/08369-6, 229 pg.
- (8) DUPAS, F. A.; Silva e; TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura; ROHM, Sérgio Antonio. **Indicadores ambientais para planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v., p. 491-506.
- (9) SOUZA, Ângela Teresa Silva e; SCHIBATTA, Oscar Akio; TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura; DUPAS, F. A.. **Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v. 1, p. 373-386.
- (10) LUZ, S. R.. **“Análise da relação entre o uso de agrotóxicos, solo e água”**. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (11) GANNAM, M. G. **“Mapa de uso e ocupação do solo utilizando fotografias aéreas originadas de sensores e aeronave de baixo custo. estudo de caso da bacia do córrego Feijão em São Carlos, SP”**. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (12) ROSELLI, R. G. **“Aplicação de metodologia para estudo da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí”**. 2006. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

TRABALHOS CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO APÓS A VIGÊNCIA DO PROJETO – 2007.

(13) GUIMARÃES, M. W. O. (2008). **“Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(14) AFONSO, G. F. (2008). **“Integração de dados baseada em ontologia”**, Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.

(15) RODRIGUES, G. O. (2009). **“Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy”**. Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(16) VIEIRA, A. M. (2009). **Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Rórrego do Feijão, São Carlos, SP. Estruturação de banco de dados para ambiente de simulação**. Projeto de Iniciação Científica PROBIC – FAPEMIG, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá. 16 pág.

(17) PEREIRA, P. R. G. (2010). **“Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(18) COSTA, C. W. (2010). **“Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP”**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(19) VIANA, E. H. (2010). **“Estruturação de Banco de Dados Físicos, Químicos, Biológicos e Geográficos da Bacia do Córrego Feijão em São Carlos-SP”**. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(20) OLIVEIRA, J. A. (2011). **“Análise da quantidade de sedimentos em bacia hidrográfica - Estudo do caso do Ribeirão do Feijão em São Carlos, SP”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.

(21) MACHADO, F. H. (2011). **“Valoração econômica dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP”**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

- (22) CAVALCANTE, T. D. M.. **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** Início: 2011. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá (em andamento).
- (23) CUNHA, R. C; DUPAS, F. A.; TUNDISI, J. G. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** 2011. Revista Geociências (UNESP. Impresso) **JCR**, v. 30, p. 399-414, 2011.
- (24) YAGUINUMA, C. A., AFONSO, G. F., FERRAZ, V., BORGES, S., SANTOS, M. T. P. (2011). **A Fuzzy Ontology-Based Semantic Data Integration System.** Journal of Information & Knowledge Management, Vol. 10, No. 3, pg. 285-299. DOI: 10.1142/S0219649211002997.
- (25) LUZ, F. G. F. (2012). **“Avaliação do potencial dos dados da SRTM – Shuttle Radar Topography Mission – por meio da análise da estimativa da perda de solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, 86 p, Capes.
- (26) GONÇALVES, F. K.. **Análise da influência do uso e cobertura do solo sobre os recursos hídricos. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, CAPES (em andamento).
- (27) CUNHA, R. C. da (2012). **“Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP”.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.
- (28) OTTOBONI, R. (2012). **Desenvolvimento do banco de dados(BD) ambientais para otimização de análises do processo de transporte de solo para reservatórios de geração hidrelétrica. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos SP.** Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Dissertação de mestrado, Engenharia da Energia, UNIFEI (em andamento).
- (29) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D.. **Regulamentos de uso do solo e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP.** Geociências (UNESP. Impresso), v. 31, n. 2, p. 143-157, 2012.
- (30) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; SILVA, L. F. . **Monitoramento e predição de expansão populacional e urbana e o consumo de recursos naturais na cidade de São Carlos, SP.** Geociências (UNESP. Impresso), 2012. (no prelo)
- (31) MACHADO, F. H.; DUPAS, F. A.. **Análise econômica do uso do solo e da disposição a pagar para proteção ambiental dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do Ribeirão do Feijão, São Carlos - SP.** Geousp (USP), 2012. (no prelo).

TRABALHOS CORRELATOS FORA DA CIDADE DE SÃO CARLOS – CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO

- (32) OLIVEIRA, T. F. **“Análise preliminar da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí, MG”**. 2003. 37 f. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (33) COSTA, I. G. D. D. (2006). **“Análise da perda de solo através de SIG e sensoriamento remoto. Estudo do caso de Santa Rita do Sapucaí, MG”**. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Trabalho de Conclusão de Curso, Fapemig - Universidade Federal de Itajubá.
- (34) DUPAS, F. A. (2009). **“Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG”**. Relatório final de projeto CNPq n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-2. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática NEPA - IRN –UNIFEI, maio, Volumes I de II, 243 pg.
- (35) HONÓRIO, D. H. **“Utilização da ferramenta Idrisi Taiga - módulo ETM na análise espacializada de tendências climáticas no Brasil”**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (36) PEREIRA, J. C. (2010). **“Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, MG”**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 116 pg.
- (37) PAES, F. S. (2010). **“Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão”**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 60 pg.
- (38) SPERANDELLI, D. I. (2010). **“Dinâmica e análise do crescimento, dos vazios e das áreas verdes urbanas de Atibaia, SP”**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.
- (39) PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F.; PEREIRA, J. C. D. . **Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG)**. Geociências (UNESP. Impresso) **JCR**, v. 29, p. 537-549, 2010.
- (40) ABE, C. A.. **Características do uso do solo de entorno e suas implicações em Unidade de Conservação. Estudo do caso do Parque Nacional do Itatiaia, RJ**. Início: 2011 - Universidade Federal de Itajubá, CNPq (em andamento).
- (41) TEIXEIRA, D. R.. **Análise comparativa dos instrumentos de gestão em unidades de conservação visando a gestão socioambiental no Cone Sul. Início: 2012**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Co-orientador). (em andamento).

- (42) BUGANA, G. O.. **Análise da expansão urbana da cidade de Bragança Paulista, SP.** Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (em andamento).
- (43) ALVES, B. S. J. N.. **Análise da expansão urbana da cidade de Lorena, SP.** Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá (em andamento).
- (44) GARGALHIONI, Saulo Roberly ; **DUPAS, F. A.** ; RODRIGUEZ-ARDILA, A.. **Previsão dos impactos causados por poluição luminosa com ênfase sobre sítios de observação astronômica e síntese da proposta de legislação nacional.** HOLOS Environment (Online), v. 12, p. 27-40, 2012 **JCR**.
- (45) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D.. **Urban sprawl, vacant land and green spaces dynamics on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil.** Journal of Urban Planning and Development **JCR**, ASCE, 2013 (no prelo).
- (46) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A.. **Dinâmica de expansão, áreas verdes e vazios urbanos na cidade de Atibaia (SP).** Geousp (USP), 2013. (no prelo).

ANEXO II

Fundamentação Legal

Este item trata sobre a abordagem legal das Áreas de Preservação Permanente nas esferas federal, estadual e municipal, especificamente pelo Novo Código Florestal (Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012), pela Legislação Florestal do Estado de São Paulo (Decisão de Diretoria nº. 148/2010/L, de 11-5-2010) e pelo projeto de lei que trata da criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do município De São Carlos – APREM- SC.

Também são abordadas as Resoluções do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, que dispõem sobre a definição e parâmetros de delimitação das APPs.

1- Legislação Federal

O novo Código Florestal (Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012), através de seus artigos 3º e 4º faz considerações a respeito das formações naturais consideradas como Áreas de Preservação Permanente e suas respectivas destinações. Para efeito de tal Lei, considera-se como Área de Preservação Permanente (APP): *área protegida nos termos dos art. 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.*

Dessa forma, de acordo com o novo Código Florestal Brasileiro, constituem-se APPs de interesse na realização do presente trabalho, as florestas e demais formas vegetais situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

1. de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
2. de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
3. de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
4. de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5. de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

e) as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

O Art. 5º da mesma Lei versa sobre outras formas de Áreas de Preservação Permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público.

2- Resoluções do CONAMA 302, 303 e 369

A Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Tal tipo de APP foi abordada no presente trabalho.

As APPs, assim como os demais espaços territoriais especialmente protegidos, são assumidos pela Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002, como instrumentos de relevante interesse ambiental, que integram o desenvolvimento sustentável, objeto das presentes e futuras gerações. Tal resolução dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

Assim, para a delimitação das referidas APPs, são consideradas as seguintes definições, dispostas em seu Art. 2º:

I. nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente;

II. nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

IV. morro: elevação do terreno com cota do topo em relação a base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

V. montanha: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros;

VI. base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;

VII. linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas;

A Resolução CONAMA n° 369, de 28 de março de 2006, dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social e baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente.

3- Legislação Estadual

A Diretoria Plena da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, considerando o contido no Relatório à Diretoria n°. 084/2010/L, de 29 de abril de 2010, que acolhe, decide:

Artigo 1° - Ficam estabelecidos e uniformizados, para o Estado de São Paulo, os procedimentos para a demarcação da Área de Preservação Permanente – APP – de morro e montanha, em formas isoladas, em conjuntos ou em linhas de cumeadas, determinada na Resolução CONAMA n° 303/02, que regulamenta a alínea “d”, do artigo 2° da Lei Federal 4771/65, consideradas as atribuições legais da CETESB, em face da edição da Lei Estadual 13.542, de 08 de maio de 2009.

Artigo 2° - Para efeito desta Portaria, ficam adotadas as seguintes definições, além das contidas na Resolução CONAMA 303/02:

a) morro: elevação do terreno com cota do topo, em relação à base, entre 50 e 300 m e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

b) montanha: elevação do terreno com cota, em relação à base, superior a 300 m;

c) base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;

d) linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas;

e) topografia plana: paisagem com declividade média inferior a dez por cento, aproximadamente seis graus, e superfície superior a dez hectares;

f) topo de uma forma de relevo: parte mais alta situada nas elevações que se destacam nos levantamentos topográficos oficiais, ou não, e que permitem o escoamento de águas em todas as direções;

g) área/superfície de escoamento pluvial: abrange toda área/superfície em que ocorre o escoamento de águas que precipitam no topo (utilizado como referência para determinação da forma morro ou montanha) e atingem uma paisagem de topografia plana ou uma superfície de lençol d'água, ou, em situação de relevo ondulado, um talvegue que drena as águas provenientes de duas ou mais áreas/superfícies de escoamento pluvial contíguas. Os talvegues que delimitam essa área/superfície constituem a depressão ao redor da forma, podendo ser de drenagem pluvial ou fluvial;

h) encosta/vertente: superfícies inclinadas que constituem a conexão dinâmica entre a linha divisora de águas (crista) e o vale (talvegue), uma área de topografia plana ou superfície de lençol d'água;

i) linha de maior declividade da encosta: linha medida no sentido ortogonal às curvas de nível, no declive mais acentuado dos lados (flancos) das feições analisadas de possíveis morros, que une a crista e a base da encosta, e que não, necessariamente, coincide com o topo e a base do morro. A cota base da encosta é determinada pelo leito maior sazonal do talvegue ou a cota limite de topografias planas.

Artigo 3º – Deverá ser adotada, para subsídio da análise, a cartografia oficial da região, na escala 1:10.000 ou a cartografia planialtimétrica que melhor represente as formas e feições do relevo de interesse (morro ou montanha, linha de cumeada e rede de drenagem), sem reduções e/ou ampliações, ou seja, na escala original da planta.

Artigo 4º – Fica estabelecida a seguinte metodologia: I - Para fins de determinação de morro ou montanha e demarcação da respectiva Área de Preservação Permanente - APP de topo, considerando Morros e Montanhas Isolados em Relevos Planos, aplica-se o que segue:

a) utilizar como referência, para análise da feição, morro ou montanha, os topos existentes no relevo;

b) delimitar a área/superfície de escoamento pluvial da feição;

c) localizar a superfície de relevo plano ou a superfície de lençol d'água, adjacente à cota mais baixa ao redor da feição e que esteja dentro dos limites da área/superfície de escoamento pluvial, para considerá-la como base;

d) calcular a amplitude da forma de relevo pela diferença entre as cotas da base e do topo da feição em análise. Se a amplitude for maior que 300 m, trata-se de uma montanha; se a amplitude situar-se entre 50 m e 300 m e possuir uma encosta, medida na linha de maior declividade da encosta, com declividade superior a 30%, trata-se de morro;

e) demarcar como Área de Preservação Permanente aquela situada acima da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha, limitando-se à área/superfície de escoamento pluvial da feição objeto da análise.

II – Para fins de determinação de morro ou montanha e demarcação da respectiva Área de Preservação Permanente - APP de topo, considerando Morros e Montanhas em Relevos Ondulados, aplica-se o que segue:

a) utilizar como referência, para análise da feição, morro ou montanha, os topos existentes no relevo ondulado;

b) delimitar a área/superfície de escoamento pluvial da feição;

c) localizar a cota mais baixa nos talwegues que delimitam a feição, para considerá-la como base. Excepcionalmente, em casos em que o relevo ondulado encontra topografias planas em que não há talwegues delimitando todos os lados da feição, para determinação da base deverá ser utilizada a cota mais baixa na superfície do lençol d'água ou no terreno de topografia plana que limitará a área/superfície de escoamento pluvial;

d) calcular a amplitude da forma de relevo pela diferença entre as cotas da base e do topo da feição em análise. Se a amplitude for maior que 300 m, trata-se de uma montanha; se a amplitude situar-se entre 50 m e 300 m e possuir uma encosta, medida na linha de maior declividade da encosta, com declividade superior a 30%, trata-se de morro;

e) demarcar como Área de Preservação Permanente aquela situada acima da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha, limitando-se à área/superfície de escoamento pluvial da feição objeto da análise.

III – Para fins da demarcação da Área de Preservação Permanente - APP do Conjunto de Morros ou Montanhas cujos topos estejam separados entre si por distâncias inferiores a 500 m, mas que não estejam em linha de cumeada, aplica-se o que segue:

a) verificar se há topos de morros ou montanhas, na concepção da legislação, no interior de uma circunferência com raio de 500 m e centro no topo de cada feição em análise, para tratá-los em conjunto;

b) definir a forma de relevo (morro ou montanha) mais baixa no âmbito do conjunto de morros e montanhas;

c) demarcar como Área de Preservação Permanente aquela situada acima da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha mais baixo, limitando-se à área/superfície de escoamento pluvial de cada feição dentro do conjunto.

IV – Para fins da demarcação da Área de Preservação Permanente - APP em Linha de Cumeada aplica-se o que segue: a) considerar como linha de cumeada o trecho de divisor de água que contem dois ou mais morros ou montanhas, a uma distância de, no máximo 5.000 m, entre seus topos;

b) demarcar os divisores de água;

c) a partir da área objeto de análise, na(s) linha(s) de cumeada, percorrer a distância de 1000 m, em todas as direções, verificando se há topos de morros ou montanhas para constituir em área de preservação permanente nesse trecho;

d) a partir do morro ou montanha de cota altitudinal mais baixa no trecho, demarcar toda a área de Preservação Permanente, situada acima da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base desse morro ou montanha mais baixo, limitando-se ao segmento de linha de cumeada de 1.000 m e aos talwegues de escoamento pluvial ou fluvial associados diretamente à linha de cumeada;

e) o início do segmento de 1.000 m citado no item anterior será na intersecção da linha de cumeada com a curva de nível que determinou a APP ou com o limite do morro/montanha (quando a curva de nível extrapolar a área/superfície de escoamento pluvial do morro/montanha). Para o fechamento da área, ao término do segmento de 1.000 m, descer ortogonalmente às curvas de nível a partir da linha de cumeada até a curva de nível que determinou a APP ou ao talvegue associado diretamente à linha de cumeada;

f) havendo outro morro ou montanha mais alto que o primeiro, dentro do limite do segmento de 1.000 m citado no item anterior, a curva de nível correspondente a dois terços, em relação

à base, desse morro ou montanha determinará a Área de Preservação Permanente de um novo segmento de 1.000 m, que se sobreporá, em parte, ao primeiro segmento.

4- Legislação Municipal

A Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano dispõe de um projeto de lei que trata da criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município de São Carlos – APREM- SC.

Neste projeto fica estabelecido:

Art. 1º - Ficam instituídas as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos - APREM-SC, como áreas de relevante interesse ecológico municipal, destinadas ao cumprimento da função social e ambiental de proteção, preservação e conservação do abastecimento de água com qualidade.

Parágrafo único. As delimitações das APREM-SC constam no mapa denominado Anexo 1 da presente Lei, e correspondem a:

I - Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho a montante da Estação de captação de água do Espriado;

II - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, dentro do município de São Carlos, a montante da Estação de captação de água para abastecimento público de São Carlos.

Art. 2º - As APREM-SC serão objeto de Planejamento e Gestão articulados com os Sistemas de Meio Ambiente, de Saneamento e de Desenvolvimento Municipal.

Art. 4º - São Objetivos desta Lei:

I - promover o pleno desenvolvimento da função social de abastecimento da população por meio da proteção e recuperação da qualidade e da quantidade das águas superficiais que compõem as APREM-SC, principalmente, por meio da recomposição da vegetação ciliar, riparia ou de galeria;

II - implementar a gestão participativa das APREM-SC integrando setores e instancias governamentais e a sociedade civil, com vistas a proteção e recuperação desses mananciais;

III - incentivar a implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação dos mananciais citados nesta Lei, disciplinando o uso e a ocupação do solo nas APREM – SC;

IV - garantir os instrumentos que proporcionem a articulação dos programas e políticas municipais, especialmente os referentes a habitação, transporte, saneamento ambiental, infraestrutura e manejo de recursos naturais a preservação do meio ambiente.

CAPÍTULO V DAS ÁREAS DE CONTROLE

Art. 7º - Ficam criadas as seguintes Áreas de Controle nas APREM-SC para a aplicação de dispositivos normativos de proteção, conservação, preservação e recuperação dos mananciais e a implementação de políticas públicas:

I - Áreas de Preservação;

II - Áreas de Ocupação Dirigida;

III - Áreas de Recuperação Ambiental.

§ 1º - As delimitações das Áreas de Controle constam no mapa denominado Anexo 2 desta Lei.

§ 2º - As Áreas de Recuperação Ambiental serão reenquadradas em Áreas de Preservação ou de Ocupação Dirigida, quando comprovada a sua efetiva recuperação ambiental.

Art. 8º As Leis Municipais de ordenamento efetivado por meio do planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano e rural, deverão obedecer aos dispositivos ambientais e urbanísticos dispostos nesta Lei, considerados de interesse municipal.

Seção I

Das Áreas de Preservação

Art. 9º - São Áreas de Preservação, além das definidas por Lei como de preservação permanente, aquelas de interesse para a proteção dos mananciais e para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais da bacia, compreendendo as seguintes sub - áreas:

I – Sub - área de Preservação 1 - SAPRE 1 – são aquelas definidas como de preservação permanente de acordo com a legislação federal, estadual e municipal, compreendidas nos limites das APREM-SC, com princípios previstos nesta Lei.

II - Sub - área de Preservação 2 - SAPRE 2 - são aquelas constituídas de uma faixa de 50,00m (cinquenta metros) a partir da SAPRE 1, de especial interesse para sua preservação e conservação, servindo de área de transição entre as Áreas de Preservação e as Áreas de Ocupação Dirigida.

§1º. O percentual mínimo de 18 % (dezoito por cento) de áreas públicas provenientes de urbanização do solo, previsto no Art. 98 da Lei Municipal n. 13.691/05, não poderá ser implantado na Sub-área de Preservação 1 - SAPRE 1.

§2º. As áreas contidas em SAPRE 2, que exerçam as funções previstas no inciso II deste artigo, serão destinadas preferencialmente a compensação ambiental, nos termos do Capítulo VI desta Lei.

Art. 10 - Considera-se de Preservação Permanente:

I - as áreas, vegetadas ou não, situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de 50 m (cinquenta metros) em cada margem;
- b) as nascentes, ainda que intermitentes e nos "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 70 m (setenta metros) de largura;
- c) ao redor de lagoas, lagos e reservatórios de água naturais ou artificiais, com largura mínima de 50 m (cinquenta metros);
- d) as encostas ou parte destas, com declividade superior a 45º (quarenta e cinco graus);
- e) as bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 m (cem metros) em projeções horizontais.

II - as áreas cobertas por matas e todas as formas de vegetação nativa primária ou secundária nos estágios médio e avançado de regeneração;

III - as áreas de várzea;

IV - as áreas que forem objeto de compensação ambiental, conforme artigo 29 desta Lei.

Art. 13 - Nas Áreas de Preservação não será permitido o uso e o armazenamento de produtos em condições que possam colocar em risco a integridade e a qualidade dos corpos d'água.