

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica
Ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**

Janine Ameku Neves

Itajubá, novembro de 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Janine Ameku Neves

**Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica
Ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Energia como
parte dos requisitos para obtenção do Título
de Mestre em Ciências em Engenharia de
Energia.**

**Área de Concentração: Energia, Sociedade e
Meio Ambiente**

Orientador: Francisco Antônio Dupas

Novembro de 2015

Itajubá

*Dedico à meu pai (in memoriam), mãe e vó,
pessoas que não mediram esforços pela educação.*

AGRADECIMENTOS

Nem sempre as trilhas que escolhemos percorrer na vida são fáceis e sem o incentivo e os bons momentos de discussões com certos mestres, que tive o privilégio de conhecer, talvez eu não teria conseguido concluir esta.

Em ordem cronológica tenho muita gratidão pelo querido prof. Angel Peña (UNESP FCT/FQB), quem primeiro me ensinou a enxergar a beleza das Ciências Naturais e encorajou as primeiras incursões acadêmicas.

Profª Juliana Furlani (UNIFEI/UAB NEAD), Profs. Newton Figueiredo, Agenor Pina e João Ricardo da Silva (UNIFEI/IFQ), grandes educadores que me inspiram e oportunizam muito aprendizado.

Prof. Dupas (UNIFEI/IRN) quem confiou e passou "o treinamento mais árduo" e necessário, Profª Adriana Mattedi (UNIFEI/IMC), prof. Luis Felipe Silva (UNIFEI/IRN), prof. Ademar Romeiro (UNICAMP) e economista Bráulio Bueno (UNIFEI) pelas significativas contribuições.

Os já "famosos" parceiros do NEPA: Costa, Luz, Machado, Cavalcante e os que ainda vão brilhar: Coelho, Silva, Siqueira e Brandão. Os desabafos, risadas e raciocínios compartilhados com vocês foram fundamentais.

Aos amigos que me apoiaram em diferentes momentos na trajetória da Mantiqueira, em especial meu companheiro Rafael, nos momentos mais críticos. Discutir ideias "revolucionárias" para produzir comida, energia, educação e arte com estas várias mentes criativas me faz sonhar e acreditar que as transformações podem acontecer.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento de bolsa.

"A não separabilidade quântica nos diz que há, neste mundo, pelo menos numa certa escala, uma coerência, uma unidade das leis que asseguram a evolução do conjunto dos sistemas naturais" Basarab Nicolescu, in: Manifesto da Transdisciplinaridade, (trad.) De Souza, L. P. - São Paulo: TRIOM, 1999, 2ªed., p. 163.

RESUMO

NEVES, J. A. (2015), Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos (SP). Itajubá, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento e Geomática, Universidade Federal de Itajubá.

O presente trabalho propõe um estudo de compensação ambiental visando a oferta dos serviços ecossistêmicos através da modificação do uso do solo. Sendo a bacia hidrográfica Ribeirão do Feijão (BHRF), unidade de planejamento, foi elaborado um banco de dados a partir da revisão bibliográfica e dos estudos anteriores para subsidiar as estratégias. As áreas rurais são previamente apontadas através do tratamento das imagens de satélite (áreas elegíveis), é proposta a conversão do uso do solo (simulação de cenários) e os locais conservados foram monitorados via modelagem dinâmica. Desta forma, o ressarcimento aos proprietários rurais dispostos (caráter voluntário) à aumentar a oferta dos serviços hidrológicos (condicionalidade) deveriam, no mínimo, igualar-se aos custos de oportunidade da atividade anteriormente exercida. Foi utilizada a Equação Universal da Perda do Solo (EUPS) para estimar o impacto da mudança do uso do solo através dos sedimentos evitados. Observou-se importância da cobertura do solo e do manejo conservacionista, lembrando que são os únicos fatores passíveis de alterações antrópicas. O Mapeamento de linha de base do Uso e Cobertura do Solo (MUCS) apontou redução de aproximadamente 11% das Áreas de Preservação Permanente (APPs) com simultâneo aumento de 2.060,53 ha nas áreas agrícolas e pastagem nos últimos seis anos. Também foi verificado que aproximadamente 24% da bacia apresenta usos do solo que favorecem a erosão, sendo as lavouras de cana de açúcar e os pomares de laranja, as maiores culturas contribuintes. Apesar de estarem localizadas nas regiões de maior fragilidade da bacia e apresentarem manejo convencional, são atividades agrícolas valoradas no mercado e significativas na economia da bacia, portando deveriam adotar práticas conservacionistas em sua produção. Foram simulados dois cenários de reconstituição em ambiente SIG: a) recomposição da vegetação ripária nas APPs e b) somadas às APPs, a recuperação de áreas com alta Expectativa de Perda do Solo (EPS > 100 t/ha/ano). A recomposição do déficit da vegetação ripária das APPs indicou diminuição de 4,65% das áreas de risco de perda de solo por erosão com simultâneo aumento de 247,25 ha das áreas de menor risco. Se considerarmos além das APPs, a recomposição da vegetação nativa nas áreas com alta EPS, as áreas protegidas chegariam a quase 90%. Em ambos cenários de reconstituição, evidencia-se o importante papel da mata ciliar para manutenção das funções ecossistêmicas. Para estimar o custo de oportunidade na conversão da produção agrícola e pecuária em floresta, os Valores Anuais Equivalentes (VAE) de cada cultura calculados por Machado (2016, no prelo) foram corrigidos monetariamente pelo Índice de Preço ao Consumidor Amplo (IPCA/IBGE). Também foi atualizado o valor da disposição a pagar (DAP) pela conservação dos recursos hídricos, que representou 57% do lucro líquido dos produtores rurais. Este recurso financiará parte das ações de manejo conservacionista e práticas de preservação. Com a aprovação do projeto de lei que prevê o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) entende-se que os benefícios proporcionados pelo ecossistemas manejados serão inclusos no mercado.

Palavras chave: Estimativa de Perda de Solo (EPS), Serviços ecossistêmicos, Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

ABSTRACT

NEVES, J. A. (2015), Environmental compensation study in Ribeirão do Feijão basin, São Carlos (SP). Itajubá, Dissertation in Energy Engineering- Center for Environmental Studies, Planning and Geomatics, Federal University of Itajubá.

This work proposes an environmental compensation study for the supply of ecosystem services by changing soil use. As the Ribeirão do Feijão (BHRF) watershed is a planning unit, a database was developed from the literature review and previous studies to support the strategies. Rural areas are previously identified through the treatment of satellite images (eligible areas), land use changes are taken and the protected locations were monitored by a dynamic model. Thus, the compensation to willing owners (voluntary) to improve hydrological services (conditionality) should, at least, be equal to opportunity costs of the previously activity practiced. The equation Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to estimate the impact on the soil by eligible areas become in forests. The important role of soil cover and good manners was observed, highlighting the only factors liable of anthropogenic changes. The baseline map Use and Land Cover (MUCL) evidenced a reduction of approximately 11% of permanent preservation areas (APPs) with simultaneous increase of 2,060.53 ha in crop lands and pasture in the last six years. It was also found that approximately 24% of basin has land uses that promotes erosion, with sugar cane fields and orange groves the largest contributors cultures. Despite being located in major fragility regions of basin and present conventional agricultural practices, they are valued activities in the market and significant for basin economy. The simulations of both scenarios were performed in GIS: a) restoration of riparian APP vegetation and b) added to the APPs, the recovery of areas with high soil loss expectancy ($EPS > 100t/ha/year$). The recovery riparian deficit of APPs vegetation indicated decrease of 4.65% of risk areas of soil loss by erosion with simultaneous increase of 247,25 ha in areas with lower risk. If we consider in addition to the APPs, the recovery of native vegetation in areas with high EPS, the protected areas would reach almost 90%. Both native vegetation reconstitution simulations shows the importance of riparian vegetation for maintaining ecosystem functions. To estimate the opportunity cost in convert agricultural and livestock production in forest, the Annual Equivalent Values (VAE) of each activities were calculated by Machado (2016, in press) and monetary corrected by the broad consumer price index (IPCA/IBGE). It was also upgraded the value of willingness to pay (WTP) for the conservation of water resources, which represented 57% of net income of farmers. This resource would finance part of conservationist management actions and protectionist practices. With the approval of law project to foresee the Payment for Environmental Services (PES) it is understood that benefits provided by managed ecosystems will be included in market.

Key words: Soil loss estimation, Ecosystems services, Payments for Environmental Services (PES).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Insumos, processamento e saídas de um sistema econômico.....	20
Figura 2- Problemas decorrentes da urbanização que incidem sobre a quantidade e a qualidade das águas.	22
Figura 3 - Porcentagem das terras agrícolas no Brasil.....	23
Figura 4- Lógica PSA.	29
Figura 5 - Consumo de fertilizante no Brasil.....	39
Figura 6 - Fator R e mapa de classificação Koppen para o Brasil.....	42
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento.....	46
Figura 8 - Seção geológica da região de São Carlos.....	47
Figura 9 - Precipitação pluviométrica em milímetro do ano de 2012, do município de São Carlos SP.	48
Figura 10 - Área alagada do Ribeirão do Feijão. Lat. 22°11'29.10"S e Long. 47°54'16.00"O.....	48
Figura 12 - Mapa de uso e cobertura do solo da BHRF, 2006.....	52
Figura 13 - Disposição a pagar (DAP) da população são carlense à proteção ambiental.....	53
Figura 14- Diagrama dos processos.	54
Figura 15 - Composição colorida falsa cor. Bandas 3, 4 e 5.....	62
Figura 16 - Mapa pedológico da BHRF.....	65
Figura 17 - Fator LS para BHRF.	67
Figura 18 - MUCS da BHRF, 2012.	69
Figura 19 - Reflorestamento de eucalipto (esq) e pomares de laranjas (dir) da BHRF.	70
Figura 20 - Área de pastagem BHRF. Fonte: NEPA, 2013.	73
Figura 21 - Caracterização temporal da vegetação primária da BHRF.	73
Figura 22 - Expansão da área urbana.	74
Figura 23 - Perda Natural por Erosão (PNE) 2012 da BHRF.....	76
Figura 24 - Expectativa de Perda de Solo 2012.	78
Figura 25 - Modelagem EUPS.....	80
Figura 26 - Uso e ocupação nas APPs da BHRF.....	82
Figura 27 - Uso e ocupação nas áreas de alta fragilidade da BHRF.....	86
Figura 28 - Comparativo temporal do uso e cobertura do solo.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Partes interessadas (<i>Stakeholders</i>) de Extrema, SP.	31
Tabela 2 - Recomposição de APPs em margem de curso d'água naturais em áreas rurais consolidadas	37
Tabela 3 - Classes interpretativas de PNE.	40
Tabela 4 -Classes interpretativas de erosividade da chuva.	42
Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade do solo.	43
Tabela 6 -Classes interpretativas do fator LS.	43
Tabela 7 - Classes interpretativas de EPS.	45
Tabela 8 - Situação do Uso e cobertura do solo na BHRF em 2006.....	51
Tabela 9 - Ano do custo e receita das atividades agropecuárias.	60
Tabela 10 - Índice de inflação anual IPCA/IBGE.	60
Tabela 11 - Especificações do sensor LISS-III.	61
Tabela 12 - Valores médios do fator K.	64
Tabela 13 - Situação de Uso e Cobertura em 2012.....	68
Tabela 14 - Fator C para as nove classes temáticas identificadas.....	68
Tabela 15 - Comparativo do MUCS 2006/2012	71
Tabela 16 - Comparativo de uso e ocupação do solo em hectares.....	72
Tabela 17 - Comparativo temporal da Perda Natural por Erosão (PNE).....	75
Tabela 18- Comparativo temporal da Expectativa de Perda de Solo (EPS).	77
Tabela 19- Usos e ocupação do solo nas APPs.....	81
Tabela 20 - Expectativa de Perda de Solo para o Cenário 1 reconstituído.	83
Tabela 21 - Resultados da simulação de recomposição da APP (30m) do manancial Ribeirão do Feijão.....	84
Tabela 22 - Uso e ocupação nas áreas de fragilidade.	84
Tabela 23 - EPS do Cenário 2 reconstituído com Mata ciliar.....	87
Tabela 24 - EPS do Cenário 2 reconstituído com Cerrado.	87
Tabela 25 - Áreas recompostas e sedimentos evitados.	88
Tabela 26 - Fluxo de caixa da produção de eucalipto.....	89
Tabela 27 - Recálculo da receita e custo do eucalipto	90
Tabela 28 - Fluxo de caixa da produção de gado de corte.....	90

Tabela 29 - Recálculo da receita e custo da pastagem.....	91
Tabela 30 - Fluxo de caixa da produção de cana de açúcar.....	91
Tabela 31 - Recálculo da receita e custo da cana de açúcar.	91
Tabela 32 - Fluxo de caixa da laranja.....	93
Tabela 33 - Recálculo da receita e custo da laranja.....	93
Tabela 34 - Comparativo econômico temporal.....	94
Tabela 35 - Valores corrigidos (R\$) do fluxo de caixa e área ocupada (ha) das culturas segundo a taxa de inflação acumulada IPCA (IBGE, 2015).....	95
Tabela 36 - Custos de recomposição florestal com espécies nativas.....	96
Tabela 37 - Espécies arbóreas nativas.....	96
Tabela 38 - Valores sugeridos para Pagamentos Incentivados (VPI).....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Serviços ecossistêmicos da água.	24
Quadro 2 - Formas de comercialização de serviços ambientais.	27
Quadro 3 - Mecanismos de proteção de bacias hidrográficas.	32
Quadro 4 - Esquemas de PSA nacionais.	33
Quadro 5 - Práticas de conservação do solo.	44
Quadro 6 - Serviços da bacia hidrográfica influenciáveis pelo uso do solo.	74

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).	41
Equação 2 - Fator R.	41
Equação 3 - Fator LS.	43
Equação 4 - Valor presente líquido	59
Equação 5 - Valor anual.	59

LISTA DE SIGLAS

@ arroba

ANA - Agência Nacional das Águas

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Proteção Permanente

APREM - Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município

BHRF - Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

CAR - Cadastro Ambiental Rural

CGU - Controladoria Geral da União

CBH-TJ - Comitê Bacia Hidrográfica - Tietê Jacaré

CODEMA - Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DSUMA - Departamento Municipal de Serviços Urbano e Meio Ambiente

EPS - Expectativa de Perda de Solo

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA - Estação de Tratamento de Água

EUPS - Equação Universal de Perda do Solo

FAO - *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)

FUNDAGUA - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

ha - hectare

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPC - Índice Nacional de Preços ao Consumidor

IPCA - Índice de Preço do Consumidor Amplo

MDT - Modelo Digital de Terreno

MF - Módulo Fiscal

MUCS - Mapa de Uso e Ocupação do Solo

NEPA - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática

ONG - Organização Não Governamental
P6 - Satélite Resource-Sat
PAE - Percentual de Abatimento de Erosão
PL - Projeto de Lei
PNE - Perda Natural de Erosão
PNMA - Programa Nacional de Meio Ambiente
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PNPSA - Política Nacional de Pagamento por Serviço Ambiental
PSA - Pagamento por Serviço Ambiental
RL - Reserva Legal
RPPN - Reserva Particular e do Patrimônio Natural
SA - Serviço Ambiental
SE - Serviço Ecológico
SAG - Sistema Aquífero Guarani
SAF - Sistema Agroflorestal
SASP - Sistema Agrossilvipastoril
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNUC - Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza
TIR - Taxa Interna de Retorno
UC - Unidade de Conservação
UTM - Universal Transversa de Mercator
UGHRI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
VAE - Valor anual equivalente
VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
SUMÁRIO.....	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Geral	17
1.1.2 Específicos.....	17
1.2 Justificativa.....	18
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Energia, Sociedade e Meio Ambiente	20
2.2 Funções e serviços do ecossistema.....	24
2.2.1 Mata ciliar e fragmentos florestais em áreas rurais	25
2.3 Pagamento por Serviço Ambiental (PSA).....	26
2.4 Instrumentos políticos	36
2.5 Degradação do solo e oferta dos serviços hidrológicos.....	38
2.6 Expectativa de Perda do Solo por Erosão.....	41
2.6.1 Fator R	41
2.6.2 Fator K.....	42
2.6.3 Fator LS	43
2.6.4 Fator C e P.....	44
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Caracterização da área de estudo.....	46
3.1.2 Usos da terra	49
3.1.3 Unidade de Conservação	49
3.2 Estudos anteriores.....	50
3.3 Etapas do estudo	53
3.3.1 Levantamento das áreas elegíveis.....	55
3.3.2 Cenários de predição	55

3.3.3 Modelagem dinâmica espacial.....	57
3.3.4 O custo de oportunidade	58
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 Geoprocessamento.....	61
4.2 Os fatores da modelagem	63
4.2.1 Erosividade da chuva.....	63
4.2.2 Erodibilidade do solo.....	64
4.2.3 Fator topográfico	66
4.2.4 Fator cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas	68
4.3 Os serviços ambientais	72
4.4 Simulação da prática de preservação.....	75
4.4.1 Cenário 1 - Áreas de Preservação Permanente.....	81
4.4.2 Cenário 2 - Áreas de fragilidade.....	84
4.5 Viabilidade econômica	88
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
5.1 Recomendações para trabalhos futuros	99
GLOSSÁRIO.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICE	121
ANEXOS.....	125

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

"Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a humanidade deve escolher o seu futuro. À medida que o mundo torna-se cada vez mais interdependente e frágil, o futuro enfrenta, ao mesmo tempo, grandes perigos e grandes promessas. Para seguir adiante, devemos reconhecer que no meio de uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que, nós, os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida, e com as futuras gerações" (CARTA DA TERRA, 2000)¹.

As áreas rurais, com seus mananciais e fragmentos florestais são importantes áreas prestadoras e mantenedoras das funções ecossistêmicas essenciais à vida. Entretanto, os atuais processos de produção agrícolas e industriais, dissociados das políticas públicas existentes, têm potencializado os riscos e vulnerabilidades do capital natural.

Geograficamente têm-se as bacias hidrográficas como divisores naturais e unidade de gerenciamento, pois dentro deste limite as questões de uso, tratamento e recarga são comuns e interdependentes. A água é um bem dotado de valor por ser essencial em todos os processos produtivos e biológicos torna-se um elemento rival e excludente sob a maioria das circunstâncias. Apesar do instrumento de comando e controle ser necessário, a cobrança de água é um mecanismo insuficiente, pois apenas a captação, tratamento e distribuição são alocados aos consumidores.

Considerando a íntima relação entre o solo e a água, além das soluções científicas e tecnológicas para monitoramento e tratamento, avanços políticos e legislativos são essenciais para assegurar a oferta e valorização dos recursos hídricos através do disciplinamento do uso do solo, conservação e recuperação da vegetação.

A bacia de estudo é responsável por 27% do abastecimento de São Carlos (vazão 246,3 l/s) e é contribuinte da Unidade de Gerenciamento do Recursos Hídricos (UGRHI) do Tietê-Jacaré, que atende 3% da população do estado de São Paulo e abriga as represas de Barra Bonita e Ibitinga. Está inserida na Área de Proteção Ambiental Corumbataí (APA) e na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), maior reservatório de água doce do mundo. Devido a sua importância, é protegida pelas leis nº 13.691/2005, que institui o Plano

¹ Preâmbulo da Carta da Terra, disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/carta-da-terra>> Acesso em dez, 2015.

Diretor Municipal e nº 13.944/2006, que dispõe sobre a criação da Lei de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município (APREM). Porém, o que se observa é uma gestão desintegrada do solo e da água evidenciando grandes falhas no cumprimento legislativo através das concessões de usos do solo para fins urbano e industrial em áreas de mananciais e ausência de monitoramento nas áreas suscetíveis à erosão.

Embora a oferta de energia e alimentos seja importante, os sistemas de produção agrícola da região sudeste caracterizam-se por monocultivos em áreas extensas, manejados por maquinários e com emprego de insumos químicos que interferem nos ciclos biogeoquímicos. Estas práticas convencionais favorecem a instalação dos processos erosivos do solo, sedimentação e contaminação dos corpos d'água. A compactação do solo pela utilização de tratores, introdução de energia exógena no sistema através do uso de pesticidas juntamente com o desmatamento da vegetação ripária são os principais fatores da perda da biodiversidade e desequilíbrios cumulativos.

Sendo assim, foram examinados na literatura programas de conservação dos recursos hídricos, cujas ações estivessem voltadas ao meio rural, dirigidos para redução da erosão e do assoreamento dos mananciais. Então, estratégias similares foram delineadas para seleção das áreas com maior fragilidade e prioritárias à implementação de um programa hipotético.

1.1 Objetivos

Visando promover melhor percepção do valor econômico dos benefícios proporcionados pelos recursos naturais, incluí-los nos processos de tomada de decisão e incorporá-los de maneira mais apropriada nas políticas públicas são apresentados os objetivos:

1.1.1 Geral

Analisar a viabilidade econômica de recuperação ambiental através do instrumento econômico de compensação ambiental na bacia hidrográfica Ribeirão do Feijão (BHRF), São Carlos, SP.

1.1.2 Específicos

- Mapear o Uso e Cobertura do Solo (MUCS) e analisar as mudanças temporais na BHRF, especialmente as APPs;

- Quantificar e caracterizar as áreas em risco ou já degradadas, prestadoras dos serviços ecossistêmicos e prioritárias à reconstituição da vegetação nativa;
- Simular a conversão da cobertura do solo em dois cenários de revegetação e
- Estimar o impacto da mudança do uso do solo através dos sedimentos evitados.

1.2 Justificativa

Apesar da BHRF localizar-se à montante da Estação de Captação de Água para abastecimento público de São Carlos, os indicadores de qualidade da água recentemente apresentaram padrões regulares e medianos (SMA, 2013) notadamente em função do descumprimento da proteção, preservação e conservação do manancial.

Para atender a legislação vigente (BRASIL, 2002a, 2002b; 2002c, 2006, 2012c; SÃO CARLOS, 2006), garantir a qualidade e quantidade de água na bacia é proposta a valorização das ações protecionistas e recuperadoras do solo. O aumento da cobertura do solo pode mitigar os problemas locais e regionais, por exemplo maior fixação de sedimentos e aumento da recarga hídrica. Pode também resultar em impactos econômicos geralmente não previstos, por exemplo, a redução com os custos de tratamento de mananciais, o aumento da oferta de água potável e o controle de enchentes. Desse modo, mapear, quantificar e avaliar os capital natural e planejar ações de manejo são de suma importância para as políticas com foco protecionista, conservacionista e de ordenamento territorial.

No próximo capítulo, é apresentada a fundamentação teórica do trabalho na perspectiva da valoração ambiental, articulados os conceitos básicos que envolvem a dinâmica dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) e exposta a situação legislativa do país. Também é evidenciada a relação entre as ações de manejo e a oferta dos benefícios do ecossistema e descritos os parâmetros da metodologia de avaliação da perda do solo.

A composição do banco de dados é listada no capítulo 3 que, ancorada nos estudos anteriores, permitiu o mapeamento dos locais favoráveis à recomposição da vegetação nativa e à simulação do monitoramento do programa hipotético. O mapa de linha de base do uso e cobertura do solo na bacia (MUCS) denuncia irregularidades já apontadas em 2006, sendo a continuidade das atividades de risco nas APPs e o avanço da mancha urbana em direção às nascentes do manancial, as mais críticas.

Aplicando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para realizar as estimativas da perda do solo anual por erosão, dois cenários de reconstituição da vegetação nativa foram

considerados nas simulações a) a recuperação da vegetação ripária das Áreas de Proteção Permanente (APPs²) e b) somadas às APPs, a recuperação das áreas com grande propensão à perda de solo por erosão (>100 t/ha/ano) através do plantio das árvores nativas.

A inferência da oferta rural e a disposição à pagar (DAP) dos usuários pelos serviços hidrológicos sinalizam prováveis partes interessadas (*stakeholders*) em consolidar acordos de compensação ambiental. Então, o custo de oportunidade do produtor rural (vendedor do SA) disposto à ceder sua área produtiva para o plantio das mudas nativas e assumir a responsabilidade de manutenção das áreas a serem reconstituídas foi calculado com base nas receitas e custos levantados previamente (MACHADO *et al.*, 2016 no prelo).

Os resultados são discutidos no capítulo 4, onde são expostas as limitações técnicas das estimativas, analisado o uso e cobertura temporal do solo da BHRF, especialmente nas áreas propícias às ações conservacionistas e protecionistas, sob os aspectos legislativo e ambiental.

No último capítulo é analisado o custo de oportunidade da conversão ou adequação do uso do solo através do programa PSA hipotético, apontadas as limitações econômicas, sociais e sugeridas recomendações para trabalhos futuros.

Também foram compiladas as terminologias utilizadas nos programas vistos na literatura e sintetizados os mapas gerados no APÊNDICE. Nos ANEXOS são apresentados a relação de trabalhos desenvolvidos e em andamento relacionados ao planejamento de bacias hidrográficas.

² Área de Preservação Permanente (APP) - área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012b).

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Os processos naturais são resultados de complexas, contínuas e dinâmicas interações entre componentes biótico (organismos vivos) e abiótico (químico e físico) do ecossistema através das forças universais da matéria e energia. O atual sistema econômico é altamente dependente das funções fornecidas pelos ecossistemas saudáveis podendo tornar-se insustentável, se a taxa de transferência de matéria e energia exceder a capacidade de suporte do capital natural da Terra ou a capacidade do meio ambiente de assimilar e diluir o calor resultante, poluição e degradação ambiental for exaurida (Figura 1).

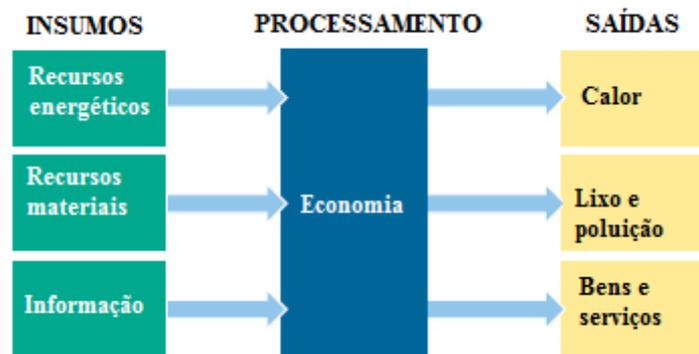


Figura 1- Insumos, processamento e saídas de um sistema econômico.
Fonte: Traduzido de Miller e Spoolman, 2011.

Todas espécies afetam ativamente a capacidade de suporte de um ecossistema, porém as atividades antrópicas são capazes de construir ou destruir a fecundidade e estabilidade dos benefícios proporcionados por eles (SMA, 1997). A exploração dos recursos naturais intensificou em função da urbanização e dos processos de conversão da vegetação nativa em área de produção agrícola (COSTANZA *et al.*, 1997; MEA, 2005; PARRON e GARCIA, 2015;) resultando impactos econômicos geralmente não previstos, como os custos associados ao controle de enchentes, ao tratamento e fornecimento de água potável e ao controle da erosão do solo. Andrade, Romeiro e Simões (2012) comentam sobre a escassez do capital natural e sua importância como fator limitante do crescimento econômico. Por esta razão, é essencial conhecer a taxa de produção e o fluxo dos recursos necessários ao bem estar social,

que variam culturalmente e em eficiência, as tecnologias utilizadas para a transformação no uso final e o destino dos resíduos para uma gestão eficaz. A mudança de enfoque da política-econômica deve reconhecer o valor destes recursos, pensar numa distribuição mais justa e eficiente que viabilize o desenvolvimento incorporado ao bom manejo e as práticas conservacionistas. Portanto, é importante analisar a quantidade e do estado do estoque capital que serve como base para sua geração, atentando para restrições quanto à sustentabilidade. Por serem sistemas adaptativos, apresentam propriedades de variabilidade e resiliência que interferem crucialmente na análise integrada (ROMEIRO, 2013).

Somente nos últimos cinquenta anos, o homem transformou o meio ambiente mais rápida e extensivamente sendo inegável os ganhos substanciais ao bem estar humano. Porém, muitos benefícios dos ecossistemas naturais são finitos, decaem em qualidade e não possuem substitutos gerando resíduos de alta entropia³ (DALY e FARLEY, 2011; ROMA *et al.*, 2013; EARP e ROMEIRO, 2015).

O Brasil apresenta um imenso capital natural que compreende pelo menos 13% de todas as espécies mundiais (LEWINSOHN, 2006), a maior área de florestas tropicais (FAO, 2006) e aproximadamente 16% das águas doces do planeta (TUNDISI, 2005). A maior parte desse patrimônio não possui direitos de propriedade definidos e, portanto, preços de mercado, de modo que seus benefícios e serviços são comumente considerados bens públicos puros. Nas últimas décadas, transformou-se em um país essencialmente urbano (83% da população) com destaque das cidades médias que viraram polos regionais. O aumento da densidade populacional, das construções e da impermeabilização das áreas têm causado problemas na qualidade e quantidade dos recursos hídricos (Figura 2). A qualidade da água como um atributo não é excludente, por exemplo: se a água é limpa para um usuário, ela está limpa para todos. Mas, se esse atributo estiver vinculado ao consumo de água real, isto é, dependendo do uso que se faça à montante poderá faltar à jusante, tornando o bem rival (ENGEL *et al.*, 2008; DALY e FARLEY, 2011), isto é, a qualidade da água é influenciada também pela complexidade dos componentes orgânico e inorgânico que são introduzidos no ar, solo e efluentes (TUNDISI *et al.*, 2015). Estes problemas, decorrentes não apenas da expansão urbana como também da intensificação agrícola, envolvem o uso de fertilizantes, dejetos humanos não tratados, efluentes industriais, pesticidas e herbicidas que estão poluindo os ecossistemas à taxas alarmantes. Esta poluição pode indisponibilizar a água em muitas regiões, aumentando a

³ Energia útil não disponível. Para discussão mais aprofundada sobre entropia no contexto das relações entre ecossistema, economia e sociedade ver EARP, H. N. S.; ROMEIRO, A. R. The entropy law and the impossibility of perpetual economic Growth. **Open Journal of Applied Sciences**, 5, 641-650, 2015.

vulnerabilidade da população humana. Além disso, a crescente degradação da qualidade da água pode gerar grande impactos econômicos refletidos nos custos de saneamento e na saúde humana (CARNEIRO *et al.*, 2015; TUNDISI *et al.*, 2015).

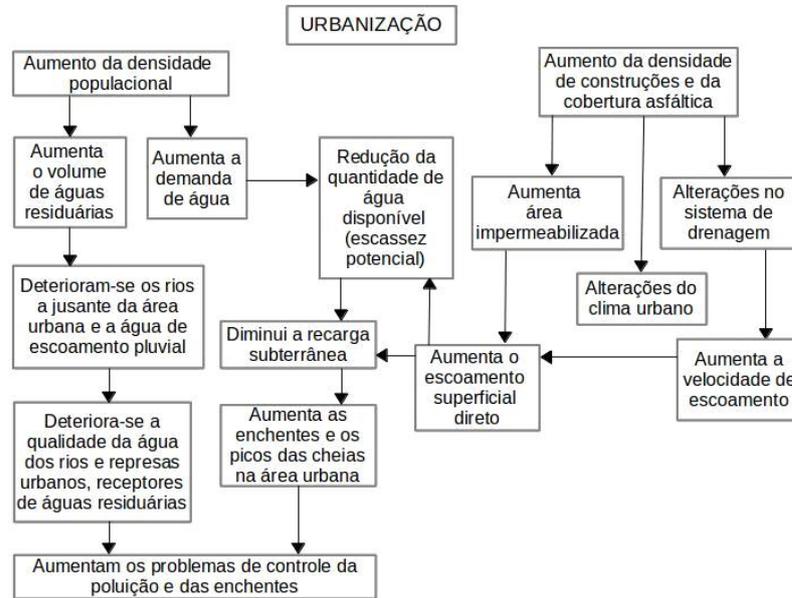


Figura 2- Problemas decorrentes da urbanização que incidem sobre a quantidade e a qualidade das águas.
 Fonte: Adaptado de Tucci, 2000 *apud* Tundisi, 2005.

Além da impermeabilização do solo, a urbanização ocasiona grande competição pelos mesmos recursos naturais (solo e água) que aumenta conforme cresce o desenvolvimento econômico (TUCCI, 2009). Somado ao progressivo crescimento urbano, existe uma ausência de planos diretores participativos ou o cumprimento dos já existentes e ainda falhas da promotoria pública (COSTA *et al.*, 2015a, 2015b), que interfere na oferta dos serviços ecossistêmicos, expondo-os à riscos de degradação.

A utilização do solo para fins agrícolas tem crescido com pouca expressão (Figura 3), porém intensificado rapidamente com aumento significativo da produção em razão do desenvolvimento tecnológico que promoveu maior produção por hectare (TUNDISI, 2005, p. 165). A expansão da produção agrícola traz benefícios substanciais aos moradores locais e contribui para o desenvolvimento da região. Por outro lado, o avanço da fronteira agrícola sem as técnicas de manejo de solo adequadas compromete os processos, funções e serviços intrínsecos do bioma (WUNDER *et al.*, 2009; ANA, 2012; FAO, 2015). Estas perdas da qualidade dos ambientes naturais decorrem principalmente da ausência de planejamento, monitoramento, cumprimento das políticas públicas e legislativas sendo portanto, consideradas externalidades.

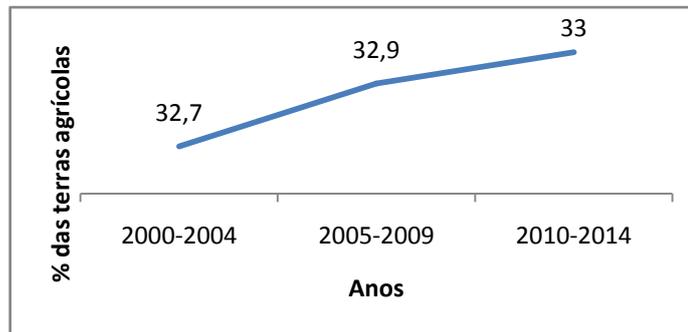


Figura 3 - Porcentagem das terras agrícolas no Brasil.
Fonte: WORLD BANK, 2015a.

Externalidades ocorrem toda vez que um agente econômico ao agir causa uma perda (ou um ganho) da função utilidade de outro agente econômico e essa perda (ou ganho) não é compensada. Por exemplo, o proprietário rural que desmata a vegetação nativa para criação de gado causa uma redução nas funções do ecossistema e gera externalidade negativa a outros proprietários à jusante que podem receber mais sedimentos devido à remoção da cobertura vegetativa. Ao contrário, quando o proprietário abdica de uma área potencial agrícola e opta pela proteção ou recuperação dos remanescentes florestais, os benefícios também ultrapassam as fronteiras da propriedade rural. A proteção da mata ciliar próximo às cabeceiras, por exemplo, melhora a qualidade e a oferta hídrica não apenas localmente como também à jusante gerando externalidades positivas. Andrade e Romeiro (2013) citam as relações de inter-dependência dos serviços ecossistêmicos, sendo necessário o funcionamento adequado dos serviços de suporte para garantia de provisão dos demais serviços, como é o caso da água.

Dados indicam que de 5% a aproximadamente 25% do uso mundial de água doce excedem a oferta acessível no longo prazo, ao mesmo tempo em que de 15 a 35% do uso global da água para irrigação são considerados insustentáveis (ANDRADE; ROMEIRO, 2009b). A eutrofização, acidificação, sedimentação dos recursos hídricos e a degradação dos recursos do solo e sub solo com os poluentes orgânicos persistentes (os chamados POPs) causam efeitos cumulativos que encarecem os custos com o tratamento de água potável e com a saúde pública (TUNDISI *et al.*, 2015). Portanto, para garantia de atendimento da crescente demanda pelos serviços hidrológicos é necessário traduzir o valor dos benefícios descritos no Quadro 1 para o mercado (BRASIL, 1997; ANDRADE e ROMEIRO, 2009a; KFOURI e FAVERO, 2011).

Quadro 1 - Serviços ecossistêmicos da água.

Benefícios do uso dos ecossistemas aquáticos	Produtos de colheita em ecossistemas aquáticos saudáveis	Serviços proporcionados pelos ecossistemas aquáticos saudáveis
<ul style="list-style-type: none"> • Preparação de alimentos nas residências e elaboração industrial de alimentos • Suprimento de água para o corpo, higiene pessoal e disposição de resíduos • Irrigação • Geração de energia, regulação de temperatura, 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos vegetais de áreas alagadas, brejos e lagos • Minerais de rios e materiais (areia e cascalho) • Extração de madeira e fungos (florestas tropicais) • Pesca e vida selvagem (esporte, pesca esportiva, caça, natação) 	<ul style="list-style-type: none"> • Recreação • Turismo • Transporte e navegação • Reserva de água doce • Controle de enchentes • Deposição de nutrientes nas várzeas • Purificação natural de detritos • Habitat para a diversidade biológica • Moderação e estabilização de microclima urbanos e rurais • Balanço de nutrientes e efeitos tampão em rios

Fonte : Tundisi, 2005.

Além da sinalização correta dos valores dos bens ambientais, políticas setoriais específicas são necessárias para melhoria na conservação ambiental e desenvolvimento sustentável (ROMEIRO *et al.*, 1999; MARTIN-ORTEGA *et al.*, 2012).

2.2 Funções e serviços do ecossistema

As funções do ecossistema ou os serviços por eles prestados foi definido no campo da economia ecológica há duas décadas como condições e processos naturais do ecossistema que mantêm o bem estar social (COSTANZA *et al.*, 1997). Para Muradian *et al.* (2010), os serviços ecossistêmicos tratam exclusivamente dos benefícios humanos derivados de ecossistemas naturais, e o termo serviços ambientais designa os benefícios ambientais resultantes de intervenções intencionais da sociedade na dinâmica dos ecossistemas, tais como as ações de manejo para a manutenção ou a recuperação dos componentes dos ecossistemas.

Poucos autores (MURADIAN *et al.*, 2010; SIMÕES e ANDRADE, 2013) fazem distinções conceituais entre serviços ecossistêmicos (SE) e serviços ambientais (SA). Os congressos mais recentes, motivados pela conservação ambiental, têm-se utilizado da diferenciação, o que enfatiza a contribuição humana para a manutenção ou ampliação do fluxo de bens e SE (PARRON *et al.*, 2015). OS SAs são mais utilizados dentro de um debate político em relação à gestão econômica e ambiental (PEREVOCHTCHIKOVA e OGGIONI, 2014).

No contexto do trabalho, as áreas agrícolas são consideradas fontes de vários SE, ainda que a compensação ambiental esteja voltada somente à oferta hídrica. Segundo Andrade e Romeiro (2013), a escolha de um determinado uso da terra pode maximizar os retornos econômicos no curto prazo, mas podem comprometer a sustentabilidade de outros SE. Portanto, é importante que as estratégias de conservação estejam conectadas com as informações econômicas para que haja adesão dos principais agentes de conservação.

A restauração da vegetação ripária nas APPs e áreas de fragilidade ambiental proporcionam benefícios diretos ao proprietário através da redução do escoamento superficial (*runoff*) e erosão hídrica. Com o tempo, nota-se também um aumento da complexidade dos *habitats* recompostos incrementando a disponibilidade de comida, retenção de sedimentos, processamento dos nutrientes, alteração das condições biológicas através do fornecimento de sombra e temperaturas moderadas. Também há melhorias e benefícios em locais externos ao plantio através do sequestro de carbono e regulação de processos naturais controle de enchentes, pragas e doenças. Em larga escala, a recomposição da vegetação fornece corredores ecológicos para o movimento da biota, aumentando a biodiversidade na escala de paisagens contribuindo significativamente para a manutenção da qualidade da água (MISERENDINO *et al.*, 2011; PRIA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013).

2.2.1 Mata ciliar e fragmentos florestais em áreas rurais

Os habitats de mata ciliar possuem funções específicas, pois exercem influência sobre a produtividade tanto dos solos ribeirinhos como dos ecossistemas aquáticos adjacentes. Por este motivo, são áreas resguardadas por leis municipais (SÃO CARLOS, 2006), estaduais e federais (BRASIL 2002a, 2002b, 2006b, 2012b, 2012c). São áreas responsáveis pela qualidade de algumas propriedades químicas da água influenciando portanto, os padrões de fluxo de biodiversidade e habitat (JONES *et al.*, 2001; SUGA e TANAKA, 2013; FERNANDES *et al.*, 2014; NISBET *et al.*, 2015).

Os remanescentes florestais são comuns em paisagens rurais, porém seu papel na melhoria da qualidade de fluxo de água tem sido pouco explorado. A estrutura florestal é responsável pelos movimentos superficiais e subterrâneos da água, sendo variável pelas características como idade, composição, densidade, tamanho, extratificação vertical dos dosses, eficiência em reter nutrientes e sedimentos. Estudos de Paula *et al.* (2011) sugerem que florestas de crescimento secundário podem reduzir a concentração de fluxos dos

nutrientes devido às altas taxas de absorção e alta infiltração do fluxo enquanto que florestas antigas retêm a matéria orgânica por maior tempo.

Souza *et al.*, (2013) e Fernandes *et al.* (2014) relataram a influência da conservação das matas nativas nos padrões de qualidade da água de através dos indicadores medidos em pontos de um gradiente florestal. As medidas realizadas nas localidades com maior cobertura florestal apresentaram menor condutividade elétrica (CE), altas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e aumento das concentrações de silicatos, nutrientes essenciais para o crescimento de fitoplânctons. Estes são indícios de que os remanescentes florestais podem ajudar a mitigar efeitos não pontuais das atividades agrícolas nas paisagens rurais, dependendo da estrutura local da floresta ripária.

A importância das matas ciliares e fragmentos de florestas para manutenção da qualidade dos córregos nas paisagens rurais indica a necessidade de valorização dos serviços ambientais, incentivo à conservação e proteção, logo merecem atenção nos projetos de gestão das bacias hidrográficas (SUGA e TANAKA, 2013; FERNANDES *et al.*, 2014). Neste sentido, torna-se essencial o desenvolvimento de projetos capazes de integrar as necessidades humanas com a persistência da biodiversidade e provimento dos SE (SEMERARO *et al.*, 2015). Os incentivos aos proprietários rurais que protegerem e conservarem áreas prioritárias que gerem benefícios fora da sua propriedade têm crescido cada vez mais, como será visto no próximo item deste capítulo.

2.3 Pagamento por Serviço Ambiental (PSA)

Nas últimas décadas, a preocupação com o processo de degradação do capital natural e as mudanças climáticas têm mobilizado estudos e discussões sobre as alterações dos ecossistemas em todo o mundo (MEA, 2005; STANTON *et al.*; 2010; GUEDES e SEEHUSEN, 2011; ROMA *et al.*, 2013; PAGIOLA *et al.*, 2013; PARRON *et al.*, 2015; JACOBI *et al.*, 2015b). A perspectiva de reciclar e conservar os recursos hídricos através de investimentos ecológicos é recente, pois as empresas de serviços públicos estão habituadas a construir estações de bombeamento, barragens, túneis entre outros empreendimentos. Portanto, a valoração ambiental é um indicador que busca assistir a oferta e conservação dos benefícios proporcionados pelos ecossistemas (COSTANZA *et al.*, 1997; MEA, 2005; ROMEIRO, 2012; ROUMASSET e WADA., 2014).

Segundo Wunder (2005), a definição do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) considera cinco fatores:

1. É uma transação voluntária, na qual;
2. Um serviço ambiental (SA) bem definido ou um uso da terra que possa assegurar este serviço;
3. É comprado por, pelo menos, um comprador;
4. De, pelo menos, um provedor;
5. Sob a condição de que o provedor garanta a provisão deste serviço.

Quase todos os PSA existentes compreendem serviços ambientais associados a uma das quatro categorias distintas descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Formas de comercialização de serviços ambientais.

Categorias PSA	Serviço ecossistêmico	Serviço ambiental
Proteção dos recursos hídricos	Redução da sedimentação em áreas à jusante, melhora na qualidade da água, redução de enchentes, aumento de fluxo em épocas secas, manutenção de habitat aquático	Reflorestamento em matas ciliares, manejo de bacias hidrográficas, áreas protegidas, qualidade da água, direitos pela água, etc.
Proteção da biodiversidade	Manutenção do funcionamento dos ecossistemas, da polinização, do uso futuro, seguros contra choques, valores de existência	Áreas protegidas, direito de bioprospecção, créditos de biodiversidade, concessões de conservação, aquisição de terras, etc.
Sequestro ou armazenamento de carbono	Absorção e armazenamento de carbono na vegetação e em solos	Tonelada de carbono não emitido ou sequestrado através de Reduções Certificadas de Emissões (ERU), créditos <i>offsets</i> de carbono, servidões de conservação, etc.
Beleza cênica	Proteção da beleza visual para recreação	Entradas, permissões de acesso de longo prazo, pacotes de serviços turísticos, acordos de uso sustentável de recursos naturais, concessões para ecoturismo, aquisição e arrendamento de terras, etc.

Fonte : Adaptado de Landell-Mills e Porras, 2002.

Wunder *et al.* (2009) aponta como inovação do instrumento PSA em relação às políticas de conservação e uso sustentável o alto potencial de auto fiscalização. A participação é voluntária e os pagamentos podem ser simplesmente reduzidos ou dispensados, caso seja detectado o não cumprimento do contrato por parte do provedor.

Sendo voluntária, a participação em esquemas de PSA só é interessante se houver perspectiva de que os benefícios excedam os custos de oportunidade, aumentando assim a renda do provedor. Dessa forma, os PSA não funcionariam em situações nas quais os custos de oportunidade da provisão de serviços ambientais são muito altos. (MMA, 2011 p.14).

As instituições de água devem comunicar as condições de escassez de água para usuários através de instrumentos como mecanismos de alocação transparentes, preços justos, direitos de água e outros mecanismos de incentivo adequados a cada cenário (FAO, 2015b). Porém, o mercado não incentiva apropriadamente o uso eficiente dos recursos naturais, sendo considerado bens livres ou de baixo custo tendendo a serem super explorados (MOTTA e MENDES, 1999; ROMEIRO, 2012) .

A ideia central do PSA é que os usuários dos benefícios derivados dos serviços ambientais façam pagamentos diretos, contratual ou condicional a proprietários de terras locais para que sejam adotadas práticas que garantam conservação dos ecossistemas, restauração de áreas degradadas e proteção das áreas potenciais de risco (WUNDER, 2005; PAGIOLA *et al.*, 2005; ZABEL e ENGEL, 2010; STANTON *et al.*, 2010). Também nos casos em que a terra seja de propriedade pública ou não apresentam significância em terrenos privados, o investimento em conservação pode ser financiado pela tributação dos consumidores de água subterrânea (ROUMASSET e WADA, 2014).

Um exemplo ilustrativo da lógica do PSA é indicado na Figura 4, onde a vegetação original foi convertida em pastagem, reduzindo a qualidade e quantidade dos SE. Os ganhos são concentrados aos pecuaristas (A) e os prejuízos ambientais difusos para as propriedades à jusante. Esta população pode incentivar os proprietários à montante a prestarem SA que objetivem a conservação ou melhoria destes benefícios.

Os produtores rurais cujas glebas estiverem dentro das áreas elegíveis podem optar por aderir voluntariamente aos programas conservacionistas e de preservação. Eles continuarão produzindo, porém em menor escala (B), e podem ser compensados pelo fornecimento de outros benefícios externos à sua propriedade, por exemplo, a redução dos sedimentos, o controle de contaminação do solo, a redução do risco de enchentes e o aumento do fluxo em épocas de seca (C). Existem custos reais de provisão dos SA e o desenvolvimento de mecanismos e instrumentos adequados contribuem significativamente para a maximização do bem estar humano, especialmente para os serviços que são essenciais, não possuem substitutos e que estão se tornando escassos (FARLEY; COSTANZA,2010).

Nestes programas, as áreas elegíveis são definidas através de equações preditivas associadas aos modelos dinâmicos e o pagamento mínimo ou qualquer outro tipo de troca voluntária atrativa que compense os custos individuais dos produtores são definidos por meio de contratos regulamentados. O método é considerado efetivo, pois alcança objetivos ambientais e de desenvolvimento econômico (D) (PANG *et al.*, 2013).

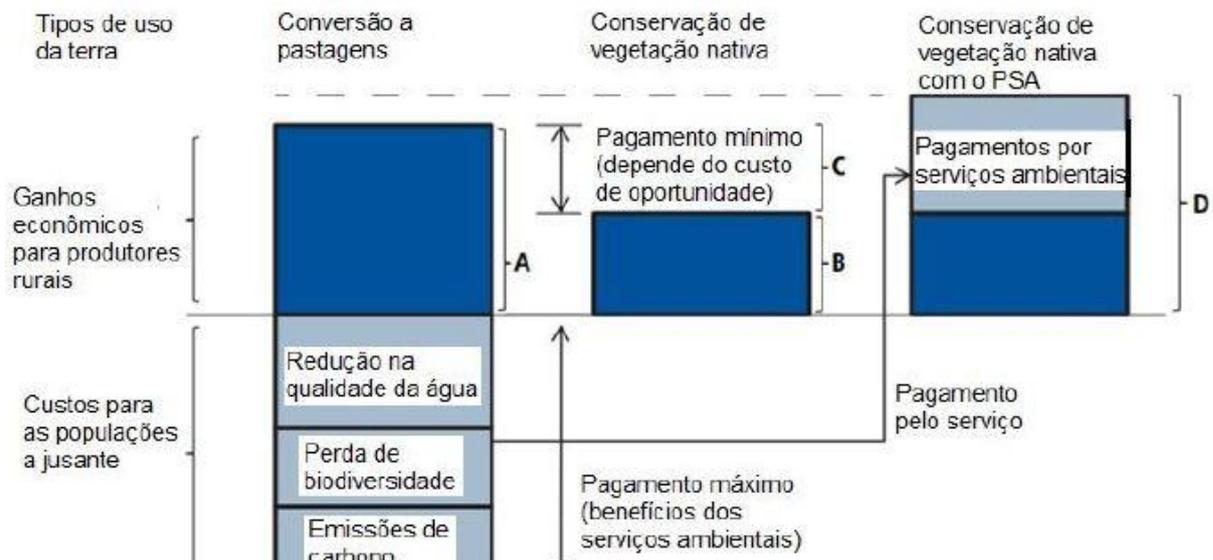


Figura 4- Lógica PSA.
Fonte: Engel et al., 2008

Dentre os serviços ambientais originados por áreas agrícolas, a produção de água é um dos mais utilizados nos arranjos de PSA existentes (STANTON *et al.*, 2010; PRIA *et al.*, 2013). Geralmente, as áreas remuneradas estão relacionadas à conservação e restauração de vegetação nativa, bem como a implementação de práticas de conservação do solo sendo os custos arcados por populações urbanas, empresas de distribuição de água e outros beneficiários. Perecochtchikova e Oggioni (2014) identificaram que a pesquisa sobre os SE aparece concentrada na América do Norte, Europa, China e Austrália, com foco predominante de análises social e econômica seguidas por abordagens física e interdisciplinar. Em relação às funções do ecossistema, estudos da biodiversidade prevalecem seguidos por hidrológicos e de carbono.

Além da motivação da proteção ambiental, alguns países como China, Rússia, Chile e Argentina têm se beneficiado de outros serviços ecossistêmicos complementares como sequestro de carbono e aumento da qualidade da água ao adotarem práticas conservacionistas e programas de incentivo ambiental (RAMACHANDRAN NAIR, 2011). O programa mexicano CONAFOR a princípio apoiava somente os serviços hidrológicos e, com o passar dos anos, expandiu para serviços relacionados ao carbono e biodiversidade. O projeto era previsto para ser cumprido em 2012, porém em 2010 alcançou 2.767 milhões de ha envolvendo 5.400 proprietários e cerca de 5.289 milhões de pesos mexicanos (PEREVOCHTCHIKOVA e OGGIONI, 2014).

A Agência Nacional de Águas (ANA) atualmente desenvolve 38 projetos voltados à proteção hídrica abrangendo uma área de 400 mil ha, dos quais 40 mil já estão recuperados.

Mais de 1,2 mil produtores recebem incentivos financeiros pelos serviços ambientais ofertados à uma população de mais de 40 milhões (MMA, 2015). O programa estimula a política de PSA reduzindo a erosão e o assoreamento de mananciais através do apoio técnico, montagem dos arranjos e financiamento para as ações as quais não se tenha identificado parceiros. Essencialmente, o PSA é feito pelos representantes dos usuários dos serviços, por exemplo, comitês de bacia com recursos da cobrança pelo uso da água, companhias de saneamento com recursos das tarifas pagas pelos usuários da água, entre outras fontes.

Um dos exemplos pioneiros de implantação do conceito de PSA é a prefeitura de Extrema, MG que, juntamente com parceiros do projeto (Tabela 1), compensa financeiramente proprietários rurais que executem ações de proteção florestal e restauração de suas áreas prioritárias, com alta fragilidade ambiental e que margeiam os cursos d'água (EXTREMA, 2010). Destacam-se duas características neste projeto a) remuneração da área diretamente ao proprietário rural e b) sub-bacias hidrográficas como unidade de implantação. O valor anual corresponde ao produto da área total da propriedade por 100UFEX⁴, que é a unidade fiscal referência do projeto, sendo reajustada anualmente pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

A linha de base foi elaborada anteriormente no projeto "Água é Vida" onde as áreas de intervenção foram apontadas no mapeamento realizado pela Secretaria do Meio Ambiente. Os SA visados objetivavam à restauração das APPs em desacordo com a legislação ambiental e, uma vez considerada área elegível, cada produtor deveria submeter um projeto individual de sua propriedade. Firmado o contrato, as atividades de conservação são executadas pela Secretaria através do Departamento Municipal de Serviços Urbano e Meio Ambiente (DSUMA) que realiza o projeto técnico, elabora o relatório mensal sobre o cumprimento das metas estabelecidas e propõe novas metas, quando pertinente. Finalmente, o Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental (CODEMA) analisa e delibera e monitora (SIMÕES, 2014).

⁴ Em 2012 100UFEX correspondia a R\$19,80 reais (SIMÕES, 2014).

Tabela 1 - Partes interessadas (*Stakeholders*) de Extrema, SP.

Atores	Ação-papel	Nível de governança
Prefeitura Municipal de Extrema	<ul style="list-style-type: none"> - Gestão administrativa e técnica; - Gestão e recursos financeiros para PSA; - Assistência técnica; - Mapeamento de propriedades; - Gerenciamento do projeto. 	Municipal público
Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD)/ Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG)	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecimento de materiais de consumo (para cercas e insumos agrícolas); - Fornecimento de equipamentos (veículos); - Gestão e recursos financeiros para PSA; - Apoio ao processo de comando e controle; - Apoio técnico à equipe técnica de Extrema. 	Estadual público
Agência Nacional de Águas (ANA)	<ul style="list-style-type: none"> - Apoio técnico à equipe técnica de Extrema; - Monitoramento da qualidade e quantidade da água; - Ações de conservação do solo; - Financiamento das ações de plantio. 	Nacional público
The Nature Conservancy (TNC)	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção e cercamento das áreas; - Monitoramento da biodiversidade e comunidade; - Fornecimento de equipamentos; - Apoio técnico à equipe de Extrema. 	Internacional; Terceiro setor
SOS Mata Atlântica	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecimento de mudas de árvores nativas; - Apoio técnico à equipe técnica de Extrema. 	Regional; Setor terceiro
Comitês de Bacia Hidrográfica PCJ	<ul style="list-style-type: none"> - Financiamento de projetos executivos através dos recursos da cobrança pelo uso da água; - Recursos financeiros para PSA. 	Regional público
Bauducco Alimentos	- Pegada hídrica e Pegada Ecológica	Local; privado
Laticínio Serra Dourada	- Apoio financeiro aos agricultores inseridos no Conservador das Águas, através de bônus de 10% no preço pago ao leite.	Local; privado
Indústria Dalla do Brasil	- Doação de biodigestores Acqualimp para tratamento de efluentes domésticos das propriedades rurais (saneamento ambiental).	Local; privado
Auto Pista Fernão Dias	- Restauração florestal	Regional; privado
Empresa Melhoramento Papeis	- Mourões e mudas de árvores nativas.	Regional; privado
Universidade e Instituto de Pesquisa Ecológica (IPE)	- Apoio técnico, informacional e produção de conhecimento científico	De federal a local; público e privado

Fonte : Simões (2014).

Simões (2014) analisa que os resultados ambientais são satisfatórios e ultrapassaram as metas previamente estabelecidas. O autor comenta que a vegetação nativa da bacia das Posses passou de 5% para mais de 10% de toda sua área em relação à Linha de base e a de Salto passou de 10 para 30% sobre o total da área. Importante destacar que não há evidências de migração da área degradada para outros locais com a adoção destas medidas. Até 2011, os recursos destinados ao projeto ultrapassaram R\$1 milhão sendo 2,85 mil ha conservados.

Um dos problemas para efetivação dos programas PSA é que os benefícios recebidos pelos proprietários rurais para conservação das florestas são frequentemente mais baixos com relação à outros tipos de usos.

Stanton *et al.* (2010) sintetizaram os principais envolvidos, as atividades financiadas e os tipos de mecanismos nos 72 projetos pilotos analisados em quatro países (Quadro 3).

Quadro 3 -Mecanismos de proteção de bacias hidrográficas.

Mecanismos de pagamento	Atividades financiadas	Participantes envolvidos
<p>Dirigidos pelo governo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subsídios de pagamentos por impostos gerais ou taxas; • Compra de terras; • Servidões de conservação; • Transferência de direitos de desenvolvimento 	<p>1. Melhorias de práticas de gestão da terra: Plantar árvores ao longo de cursos de água;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir o uso de fertilizantes; • Gestão de esterco; • Cercar córregos e áreas de recarga dos animais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Compradores/financiadores: governo, privado, ONGs, usuários individuais e interessados. • Vendedores/beneficiários: proprietários privados ou administradores informais, reservas governamentais ou privadas e ONGs que possuam título e responsabilidade de gestão de áreas protegidas. • Administradores: Estabelecedores das especificidades de transação, facilitador das negociações entre compradores e fornecedores, pode realizar monitoramento e avaliação • Intermediários: Qualquer facilitador da transação ou implementação geral do programa, por exemplo, ONGs, consultores ou instituições acadêmicas. • Financiadores: governo ou doadores, como bancos multilaterais, ONGs e interesses privados que promovam proteção das bacias hidrográficas por várias razões
<p>Dirigidos pelo setor privado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pagamentos subsidiados por fontes privadas; • Taxas exigidas para proteção de bacias hidrográficas 	<ul style="list-style-type: none"> • Plantar culturas de cobertura para diminuir o escoamento e assoreamento; • Melhorar a gestão florestal incluindo práticas agroflorestais; • Evitar práticas de desmatamento. <p>2. Assistência técnica e educação 3. Desenvolvimento de plano de gestão de bacia 4. Aplicação de áreas de proteção 5. Atividades geradoras de renda para reduzir pressão de desmatamento ou financiar trabalho de remoção de espécies invasiva 6. Verificação e monitoramento</p>	

Fonte : Stanton *et al.*, 2010.

O Brasil segue a tendência mundial com focos sociais e físicos predominantemente, prevalecendo a conservação das funções biológicas e hidrológicas e com distribuição territorial heterogênea. O Programa Reflorestar do Estado do Espírito Santo é um destaque por apoiar a implantação de Sistemas Agroflorestas (SAFs) através dos recursos do Fundo

Estadual de Recursos Hídricos (FUNDAGUA) definido nas Lei 9.864/2012 e Lei 9.866/2012. Os contratos têm duração de 3 a 5 anos de acordo com os esquemas analisados por Simões (2014), sendo e dependem do uso de terra escolhido. Outro exemplo de fomento são os projetos “Produtor de Água” das Bacias PCJ (SP) e do rio Guandú (RJ), que abastecem respectivamente as regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. Movidos por recursos provenientes da cobrança pelo uso da água e gerenciados pelos respectivos Comitês de Bacia (CBH), incentivos financeiros são repassados aos proprietários rurais adotem ações de conservação de água em suas propriedades.

Entende-se que o modelo de PSA adotado seja um instrumento que recompensa os produtores rurais que mantém ou ampliam os serviços ecossistêmicos, não se constituindo em um subsídio agrícola posto que o pagamento é proporcional ao serviço ambiental prestado (ANA, 2012). Muitos estados apresentam interesse em investir e criam leis estaduais que fornecem a base legal destes projetos (Quadro 4). Assim como nos casos mexicanos analisados por Perevochtchikova e Oggioni (2014), os casos brasileiros (SIMÕES, 2014; PARRON *et al.*, 2015) parecem estar relacionados com a história do local. A Amazônia, por exemplo enfrenta grandes problemas com desmatamento e priorizou a conservação da biodiversidade, enquanto que no estado de São Paulo, onde várias cidades sofreram com a crise hídrica, esquemas de conservação hídrica foram o maior foco.

Quadro 4 - Esquemas de PSA nacionais.

Estados	Legislação	Descrição
Acre	Lei 2.025/2008	Programa Estadual de Certificação de Unidades Produtivas
	Lei 2.308/2010	Sistema de Incentivo a Serviços Ambientais do Acre.
Amazonas	Lei Complementar 53/2007	Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Amazonas.
	Lei 3.135/2007	Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas.
	Lei 3.184/2007	Altera a Lei estadual 3.135/2007 e dá outras providências.
	Decreto 26.958/2007	Bolsa Floresta do Governo do Estado do Amazonas.

Estados	Legislação	Descrição
Espírito Santo	Lei 8.995/2008	Programa de Pagamento por Serviços Ambientais.
	Decreto 2168-R/2008	Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (Regulamento).
	Lei 9.607/2010	Altera e acrescenta dispositivos na Lei 8.995/2008. Disciplina o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNDÁGUA.
	Lei 8.960/2008	
Minas Gerais	Lei 14.309/2002	Política Florestal e de Proteção à Biodiversidade no Estado.
	Lei 17.727/2008	Concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais (Bolsa Verde) e altera as Leis 13.199/1999 (Política Estadual de Recursos Hídricos) e 14.309/2002.
	Decreto 45.113/2009	Normas para a concessão da Bolsa Verde.
Pernambuco	PL 1.527/2010; em tramitação	Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco
Paraná	Lei 16.436/2010	Prestador de Serviços Ambientais
	Decreto 4.381/2012	Programa Bioclima Paraná de conservação e recuperação da biodiversidade, mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Estado do Paraná e dá outras providências.
	Lei 17.134/2012	Pagamento por Serviços Ambientais (em especial os prestados pela Conservação da Biodiversidade) integrantes do Programa Bioclima Paraná, bem como dispõe sobre o Biocrédito.
Rio de Janeiro	Lei 3.239/1999	Política Estadual de Recursos Hídricos
	Lei 4.247/2003	Cobrança pelo uso da água
	Lei 5.234/08	Regulamenta a cobrança pelo uso da água de domínio estadual.
	Lei 5.639/10	Regulamenta FUNDRHI
	Decreto 42.029/2011	Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (Prohidro), que estabelece o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PRO-PSA), com previsões para florestas.

Estados	Legislação	Descrição
Santa Catarina	Lei 14.675/2009	Código Estadual do Meio Ambiente e outras providências.
	Lei 15.133/ 2010	Política Estadual de Serviços Ambientais e Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (Pepsa) (Regulamento).
Rio Grande do Sul	PL 449/2007; em tramitação	Política Estadual de Serviços Ambientais
São Paulo	Lei 13.798/2009	Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC)
	Decreto 55.947/2010	Política Estadual de Mudanças Climáticas (Regulamento) e Programa de Remanescentes Florestais, que inclui o Pagamento por Serviços Ambientais.
	PL 271/10	Política Estadual de PSA

Fonte : Guedes e Seehusen, 2011

Em 2013, a TNC publicou⁵ seus resultados nessa área e chegou a números de 1.542 propriedades contempladas, 1.160 hectares restaurados, 3.999 hectares preservados e aproximadamente 5.2 milhões de dólares já pagos por serviços ambientais desde 2006.

Essas políticas consideram que paisagens planejadas e manejadas adequadamente podem prover não só a produção de alimentos e fibras, mas também ampla variedade de serviços ambientais que em sua maioria não tem valor de mercado, como a conservação da biodiversidade, regulação da água, e regulação climática (PARRON *et al.*, 2015). Alguns autores comentam importantes lacunas existentes na ligação entre as alterações de manejo e uso do solo e às mudanças nos meios de vida, saúde, valores culturais, e outras métricas do bem estar humano (RUCKELSHAUS *et al.*, 2015).

Chaves *et al.* (2004) comentam que os critérios desenvolvidos na elaboração do programa produtor de água são os valores da compensação financeira suficientes para: i) atrair produtores para o programa; ii) alcançar a meta de abatimento de erosão e sedimentação pretendida, e, iii) serem iguais e/ou inferiores ao custo de implantação e operação do manejo e/ou prática conservacionista proposta, buscando não caracterizar-se como subsídio agrícola.

⁵ <http://www.tnc.org.br/nossas-historias/publicacoes/tncbrasil-top2013.pdf>

2.4 Instrumentos políticos

A Lei nº 4.504 de 1964 que regula os direitos e obrigações concernentes aos bens imóveis rurais responsabiliza o proprietário rural pelo exercício das atividades agropecuárias dentro dos princípios de conservação dos recursos naturais renováveis. O poder público poderá extinguir gradativamente as formas de ocupação e de exploração da terra que contrariarem a função social e econômica da terra (BRASIL, 1964).

Embora exista alguma percepção jurídica da importância dos recursos hídricos com Código das Águas criado em 1997, somente em 2000 foi instituída a Agência Nacional das Águas (ANA), que juntamente com os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) são responsáveis por gerenciar os recursos hídricos. Dos instrumentos estipulados para incentivar o uso racional, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos tem a finalidade de financiar programas e intervenções de proteção, recuperação e conservação de rios, nascentes e estuários (BRASIL, 1997). Parte dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água, na forma da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, está prevista para a manutenção, recuperação ou recomposição das Áreas de Proteção Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs) das bacia hidrográficas.

O Brasil é um dos poucos países no mundo que tem uma legislação avançada que exige a conservação de vegetação nativa em propriedade privada. O Código Florestal cita uma conservação de ao menos 20% de vegetação nativa em cada propriedade por meio da Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP) a depender da localização e bioma.

O decreto federal nº 4.340 (BRASIL, 2002c) que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) também prevê a alocação dos recursos advindos da compensação referente ao licenciamento ambiental de empreendimentos com significativo impacto ambiental.

Porém, a revisão do Código Florestal (BRASIL, 2012c) trouxe importância ao tamanho dos módulos fiscais (MF) como parâmetro legal na indicação da largura obrigatória para recomposição das APPs situadas na margem de cursos e corpos d'água naturais. A consideração do MF como parâmetro de adequação ambiental das propriedades rurais causou algumas controvérsias, pois propriedades rurais com até quatro módulos fiscais são isentas da responsabilidade em recuperar ou recompor áreas RL. Além da diminuição da área a ser obrigatoriamente conservada das APPs (Tabela 2), se comparada à legislação anteriormente vigente, o novo parâmetro pode projetar distorções fundiárias e cartoriais sobre a obrigação

ambiental de cada proprietário ao permitir subdivisões das matrículas cartoriais (LANDAU *et al.*, 2012).

Tabela 2 - Recomposição de APPs em margem de curso d'água naturais em áreas rurais consolidadas

Módulo fiscal	Largura do curso d'água (m)	Faixa de recomposição da APP* (m)
≤ 1	---	5 m
> 1 até 2	---	8 m
> 2 até 4	---	15 m
> 4 até 10	< 10	-20 m
	> 10	Metade da largura do curso d'água (mínimo de 30 e máximo 100m conforme PRA ⁶)
> 10	---	

Fonte: Adaptado de Landau *et al.*, 2012.

* Largura da faixa marginal em relação à calha do leito regular do curso d'água. Nos casos em que a largura da APP for menor do que o estabelecido pela legislação, a recomposição pode ocorrer através de: regeneração natural de espécies nativas, plantio de espécies nativas e/ou, no caso de propriedades com até 4 módulos fiscais, plantio intercalado de espécies lenhosas perenes ou de ciclo longo em até 50% da área total a ser recomposta.

O tamanho dos módulos fiscais depende principalmente das condições de produção, dinâmica de mercado, infraestrutura instalada, disponibilidade tecnológica e de aspectos naturais, como água e solo. Os municípios com maior acesso a essas condições demandam o uso de uma área menor para a obtenção de rentabilidade a partir das atividades desenvolvidas, apresentando tamanho do módulo fiscal menor. Já os municípios com maior carência dessas condições apresentam módulos fiscais de maior dimensão (BRASIL, 2012d).

Atualmente, é discutido o projeto de lei PL792/2007, seu substitutivo e apensados que visam instituir uma Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PNPSA). A política visa estabelecer as diretrizes básicas e os parâmetros para compensar financeiramente iniciativas de conservação e recuperação ambiental (serviços ambientais) que garantam a oferta dos serviços ecossistêmicos (CORBERA, 2011; BRASIL, 2012b). Estes programas têm atraído crescente interesse como mecanismos políticos, além de contribuir com o alívio de pobreza (LANDELL-MILLS e PORRAS 2002; PAGIOLA *et al.*, 2005; WUNDER *et al.*, 2008; FARLEY e COSTANZA, 2010; ZABEL e ENGEL, 2010).

No caso dos mecanismos tributários, proprietários detentores de áreas naturais já recebem isenções de impostos ou compensações em virtude da exclusão dessas áreas da base

⁶ Programa de Regularização Ambiental (PRA): programa complementar ao Código Florestal a ser criado a partir de análise ampla e técnica das áreas rurais de cada Estado, considerando regras gerais para implantação previstas no Decreto no 7.830 de 2012 (BRASIL, 2012c) e lacunas deixadas pelo Código Florestal vigente (BRASIL, 2012a,b).

de cálculo de tributos ou por meio da instituição de áreas protegidas particulares, por exemplo, as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs). Enquanto as isenções tributárias são mais expressivas no meio urbano, no caso do IPTU, 14 estados brasileiros adotam o chamado ICMS-Ecológico, isenção do Imposto Territorial Rural, que se aplica sobre as áreas de Reserva Legal (RL), APPs e RPPNs que, em alguns casos, prevê o suporte financeiro a investimentos nas RPPNs com recursos do Fundo de Participação dos Municípios. (PRIA *et al.*, 2013).

2.5 Degradação do solo e oferta dos serviços hidrológicos

O desmatamento em função do cultivo, criação de gado e construção de assentamentos perturbam o fluxo de energia e desestabiliza os biomas naturais dos cerrados. Outro fator agravante é a dependência dos combustíveis fósseis, uma das principais causas das mudanças climáticas. Estudos recentes de Crowter *et al.* (2015) estimam que 15 bilhões de árvores no mundo são cortadas todo ano, sendo o número global de árvores derrubadas desde o início da civilização humana de aproximadamente 46%. No Brasil são mais de cinco milhões de km² de área florestal natural ou plantada, sendo 21.944 km² desmatado somente entre 2011 e 2012 (WORLD BANK, 2015c). Uma importante razão para esta perda é que proprietários da terra não são incentivados a preservar e conservar os remanescentes florestais principalmente pela não valorização dos serviços por elas prestados.

Romeiro *et al.* (1999) comentam que, uma vez que o ambiente seja simplificado à monoculturas, para manter a produtividade é necessário o emprego cada vez maior de insumos e energia exógena. A aplicação dos pesticidas sintéticos ocasiona muitas consequências não intencionais, degradação das funções ecossistêmicas, resistência à toxidade das pestes e várias alterações na dinâmica do agronegócio (KUNZ *et al.*, 2011). Outros efeitos nocivos são a redução da biodiversidade através da destruição ou degradação dos habitats causando extinção prematura (MILLER e SPOOLMAN, 2011).

Porém, este tipo de manejo estagna ou diminui na proporção que os custos de manutenção excedam as vendas. Talvez seja este um dos motivos da pequena redução do consumo dos fertilizantes no Brasil nas últimas décadas (Figura 5), que ainda assim, é o quarto consumidor mundial (WORLD BANK, 2015b). Tavares e Haberli Junior (2015) comentam outras contribuições, como os aumentos elevados nos preços dos fertilizantes no mercado internacional (que trouxe consequências para o Brasil por ser grande importador) e

dos custos de fretes marítimos, que alteraram a relação demanda e oferta de matérias-primas utilizadas.

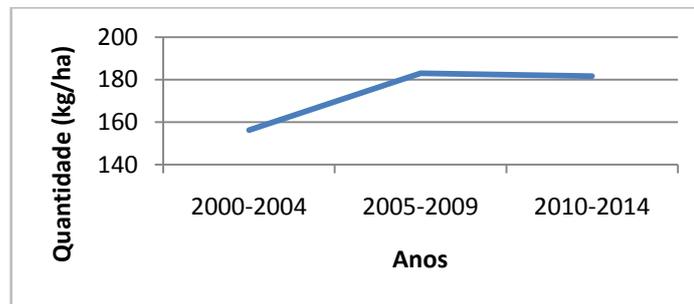


Figura 5 - Consumo de fertilizante no Brasil.
Fonte : World Bank, 2015b.

As grandes extensões das áreas cultivadas e a quantidade de fertilizante consumida refletem os padrões produtivos e as práticas do agronegócio brasileiro. Cella e Rossi (2010) mostraram as principais culturas que mais utilizam fertilizantes no país, entre elas, as lavouras de cana de açúcar (15%), reflorestamento (3%) e laranja (2%) muito presentes no estado de São Paulo. Esta quantidade de insumos agrícolas pode acelerar o processo de eutrofização cultural nas áreas rurais e também urbanas (MILLER e SPOOLMAN, 2011) e provocar mudanças nos padrões físicos e químicos da água (DOSSEKEY, *et al.*, 2010; SUGA e TANAKA, 2013).

Áreas protegidas com mananciais de boa qualidade necessitam de pouco investimento em tratamento sendo os custos de entre R\$ 2,00 ou R\$ 3,00 por 1.000 m³. O desmatamento e a degradação dos mananciais aumentam os custos de adição de cloro e flúor sendo estimado em até R\$ 300,00 por 1.000 m³. Além da deterioração dos serviços de abastecimento de água, há perda de serviços de recreação, turismo, pesca, com aumento da toxicidade e eutrofização (TUNDISI, 2005; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

Outro agravante do atual sistema de cultivo é a mecanização, que compacta e causa erosão do solo. A erosão acontece quando partículas do solo desprovidas de cobertura vegetal são destacadas por pingos de chuva e transportada por fluxo superficial. Em áreas onde o processo de erosão está avançado ocorrem a redução da produtividade agrícola, aumento do transporte de sedimentos, nutrientes e agrotóxicos (SILVA *et al.*, 2013).

A erosão hídrica é uma das principais causas da degradação dos solos, dos recursos hídricos e das terras agrícolas através da perda da camada superficial do solo e do arraste de partículas. Tal fenômeno é uma ocorrência natural da evolução da paisagem e, nessa condição, somente é perceptível com a decorrência de longos períodos de tempo, porém toma proporções maiores ou mais velozes com a interferência antrópica (ANA, 2012; ZONTA *et*

al., 2012). Costa *et al.* (2015c) afirmam que as mudanças irreversíveis podem ser evitadas utilizando modelos de uso do solo, os quais podem examinar o impacto de regulações de usos do solo alternativos e disciplinamentos futuros e de ordenamento do meio ambiente. Além disso, o planejamento e ordenamento do desenvolvimento agrícola e urbano podem evitar custos onerosos à administração, gestores e, conseqüentemente, à toda população (SPERANDELLI *et al.*, 2013).

O Brasil perde anualmente, pelo menos 500 milhões de toneladas (t) de terra através da erosão, correspondendo à retirada de uma camada de 15 cm de espessura numa área de 2.800.000.000 m² de terra (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Essa perda de solo influencia diretamente a produtividade das culturas agrícolas, pois diminuem a qualidade do solo, seus atributos físicos, químicos e biológicos (HERNANI *et al.*, 2002). Para o estado de São Paulo, Bertolini *et al.* (1993 *apud* ZONTA *et al.*, 2012) mencionam que, dos 194 milhões de toneladas de terras férteis erodidas anualmente, 48,5 milhões atingem os cursos d'água. Estas perdas anuais de solo em áreas agrícolas geram prejuízos, segundo Hernani *et al.* (2003), da ordem de US\$ 2,9 bilhões no Brasil em consequência dos menores rendimentos e maiores custos da produção.

A magnitude da erosão depende de três fatores físicos que interferem na Perda Natural de solo por Erosão (PNE): erosividade, erodibilidade e topografia, considerando que o solo esteja descoberto (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Nesta circunstância, a pluviosidade atua como agente desagregador do solo e o relevo age como variável decisiva na aceleração dos processos erosivos. Daí a importância da cobertura vegetal na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos e importante consideração no planejamento do uso do solo e dos recursos hídricos.

A PNE pode ser dividida em quatro classes principais (Tabela 3):

Tabela 3 - Classes interpretativas de PNE.

Classes de Perda de Solo (t/ha/ano)	Interpretação
0 † 400	Muito Baixa
400 † 800	Baixa
800 † 1.600	Moderada
> 1.600	Extremamente Severa

Fonte : Adaptado de 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).

2.6 Expectativa de Perda do Solo por Erosão

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é o modelo mais simples para predição de erosão que estima a perda média anual de solo (t/ha/ano) com precisão aceitável. Foi desenvolvida em 1954 no *National Runofand Data Soil Loss Center* pela *Agricultural Resarch Service* em colaboração com a Universidade de Purdue (EUA) e, posteriormente, revisada por Wischmeier & Smith (1978). São considerados os seguintes parâmetros (Equação 1): erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia (LS), uso e cobertura do solo (C), manejo e práticas conservacionistas (P) (WISCHMEIER & SMITH, 1978):

Equação 1 - Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

2.6.1 Fator R

O potencial erosivo da chuva (R) 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 (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992). O cálculo do fator R foi feito por meio do *software* NetErosividade que estima os valores de erosividade da chuva para todo o estado através de uma rede neural artificial considerando dados de latitude, longitude e altitude (MOREIRA *et al.*, 2008). O *software* interpolou os dados de 138 estações pluviométricas do estado de São Paulo, no período de 1961/1990 de acordo com a seguinte Equação 2, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992):

Equação 2 - Fator R.

$$R_k = \sum EI = \sum \left\{ 67,355 \cdot \left(\frac{r_k^2}{P} \right)^{0,85} \right\}$$

Fonte: Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

Onde R = erosividade média mensal do mês k;

r = precipitação média mensal do mês k (mm);

P = precipitação média anual (mm).

A interpretação do valor encontrado seguiu a metodologia proposta por Mello *et al.* (2007) conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 -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 : Mello *et al.* (2007)

Oliveira *et al.* (2012) revisaram a erosividade da chuva no Brasil, conforme mostra a Figura 6, onde é observado também o mapa da classificação Koppen.

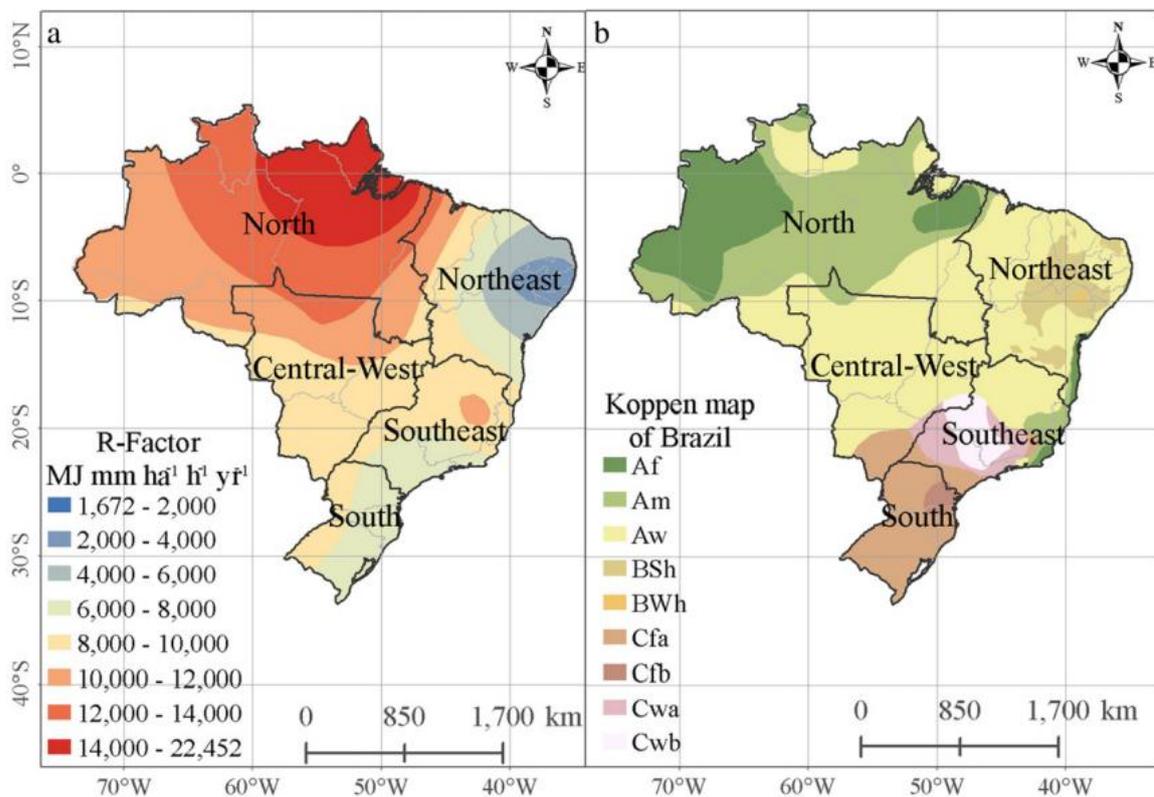


Figura 6 - Fator R e mapa de classificação Koppen para o Brasil.

Fonte:Oliveira *et al.*, 2012.

2.6.2 Fator K

O fator K é a erodibilidade do solo e mensura a capacidade que cada tipo de solo tem de erodir considerando as características intrínsecas, como permeabilidade, porosidade e composição do solo. O mapa geológico foi vetorizado da carta Pedológica SF -23-Y-A-I na escala de 1:100.000 (OLIVEIRA e PRADO, 1984) para as classes geológicas encontradas. A estas foram atribuídas valores em conformidade com a literatura consultada (LUZ, 2012).

De acordo com as classes interpretativas indicadas por Carvalho (1994 *apud* SILVA e ALVARES, 2005), os solos discriminados possuem erodibilidade alta, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Classes interpretativas de erodibilidade do solo.

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: Adaptado de Carvalho, 1994 *apud* Silva e Alvares, 2005.

2.6.3 Fator LS

O fator LS considera a declividade e o comprimento da rampa que determinam a velocidade e o tempo do escoamento de sedimentos. O Modelo Digital do Terreno (MDT) gerado pela digitalização das curvas de nível da carta topográfica na escala 1:50.000 (IBGE, 2014) foi o material requisitado pelo *software* USLE-2D (DESMET e GOVERS, 1996). Os valores do comprimento de rampa foram calculados pelo modelo hidrológico de composição de fluxo e a estimativa dos valores de declividade foram definidos de acordo com a Equação 3 proposta por Wischmeier e Smith (1978):

Equação 3 - Fator LS.

$$s = 65,41. \text{sen. } 2\theta + 4,56. \text{sen}\theta + 0,065$$

Fonte Wischmeier e Smith (1978).

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

Segundo Wischmeier e Smith (1978), esse fator consiste na relação esperada entre perdas correspondentes a um terreno mantido continuamente descoberto e outro mantido continuamente cultivado por unidade de área em um local qualquer, em um comprimento de rampa padrão de 25 metros e declividade de 9%.

Silva e Schulz (2003) definiram três interpretações do fator LS, sendo eles amenização, neutralidade e aumento da perda, conforme indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 -Classes interpretativas do fator LS.

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

Fonte : Silva e Schulz (2003).

2.6.4 Fator C e P

As práticas de manejo são as atividades de natureza antrópica que acabam por acelerar ou retardar o processo erosivo. Práticas que exponham os solos à incidência das precipitações - como queimadas e derrubadas de florestas, aquelas que promovem o enfraquecimento da estrutura dos solos - como a compactação e mecanização excessiva - favorecem a ação dos fatores erosivos e produzem externalidades negativas.

Contudo, as práticas que visam à manutenção da cobertura vegetal - como o plantio direto e o uso de cobertura morta - e aquelas que visam melhorias das condições de fertilidade e da estrutura do solo - como adubação e calagem - promovem a atenuação da erosão (HUNINK *et al.*, 2012). A retenção de resíduos de colheita e cobertura com folhas secas (palha, palhada, cobertura morta) resultam em aumento significativos de interceptação de material particulado (DOSSEKEY *et al.*, 2010). Ainda assim, é necessário observar a aptidão agrícola da área. Por exemplo, para cana de açúcar que tem sofrido grande expansão no estado de São Paulo, existem áreas restritas, limitadas ou totalmente inadequadas para o plantio, conforme o mapa de zoneamento agroambiental nos ANEXOS.

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. As práticas podem ser de caráter edáfico, vegetativo ou mecânico (BERTONI e LOMBARDI, 1999) conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - Práticas de conservação do solo.

Práticas de Caráter Edáfico					
Controle das queimadas	Adubação verde	Cultivo de plantas forrageiras (fixação de nitrogênio no solo). Ex: milho, sorgo, mucuna-preta, feijão-caupi.		Adubação química, orgânica e calagem; O uso de esterco ainda auxilia na melhoria das características físicas do solo.	
Práticas de Caráter Vegetativo					
Florestamento e reflorestamento	Pastoreio e cultivos rotativo	Cultivo em contorno e/ou em curvas de nível	Cordões de vegetação permanente, barreiras vivas e faixas de retenção	Ceifa das plantas e utilização da cobertura morta	Plantio direto com colheita e distribuição dos restos da cultura antecessora (palhada); aplicação de herbicidas e plantio.
Práticas de Caráter Mecânico					
Terraceamento	Canais escoadouros		Bacias de captação de águas pluviais		Barraginhas

Fonte : Adaptado de ZONTA *et al.*, 2012.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são ações que buscam regenerar florestas e ampliar as áreas de proteção recuperando pastagens e áreas desmatadas com manejo, diversificação das espécies e práticas conservacionistas. Indicam ser manejos oportunos à recuperação de áreas degradadas, favorecendo a conservação, proporcionando lucratividade adicional na renda de famílias rurais e diversificação na produção de alimentos com menos ou nenhum agrotóxico (MONTAGNINI e FINNEY, 2011). Além de indicar o suprimento de renda, o sistema consome maior mão de obra com relação à pecuária, porém retornam mais por unidade de trabalho (PAGIOLA *et al.*, 2012).

Estudos sugerem efeitos positivos sobre o solo, aumento da fertilidade devido à maior fixação de nitrogênio e aumento da biodiversidade. Foucat e Fernández (2014) mostram que, em quatro anos, o SAF torna-se mais rentável em relação à um sistema tradicional de produção de leite no México. Para a BHRF, Neves *et al.* (2015) calcularam cinco anos para a estabilização de um SAF implantado nas APPs com o objetivo de recuperação de áreas degradadas integrada à saúde do trabalhador e produção comercial.

Para verificação da cobertura do solo e determinação do fator C foram geoprocessadas imagens de satélite (INPE, 2014a) e adotados os valores encontrados na literatura relacionados aos nove temas identificados na bacia. O fator P foi avaliado em trabalho de campo realizado.

Segundo a classificação de Irvem *et al.* (2007), a EPS pode ser ordenada em seis categorias (Tabela 7):

Tabela 7 - Classes interpretativas de EPS.

Classe de EPS (t/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).

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Localizada nos paralelos 22°00' e 22°30'S e 47°30' e 48°00'W, a cidade de São Carlos abrange 1.136,907 km² de unidade territorial (IBGE, 2015), sendo 96% da população urbana (SEADE, 2015). À sudeste da cidade (Figura 7) encontra-se a Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão (BHRF), que circunda as cidades Itirapina e Analândia totalizando 22.269,58 hectares (ha).

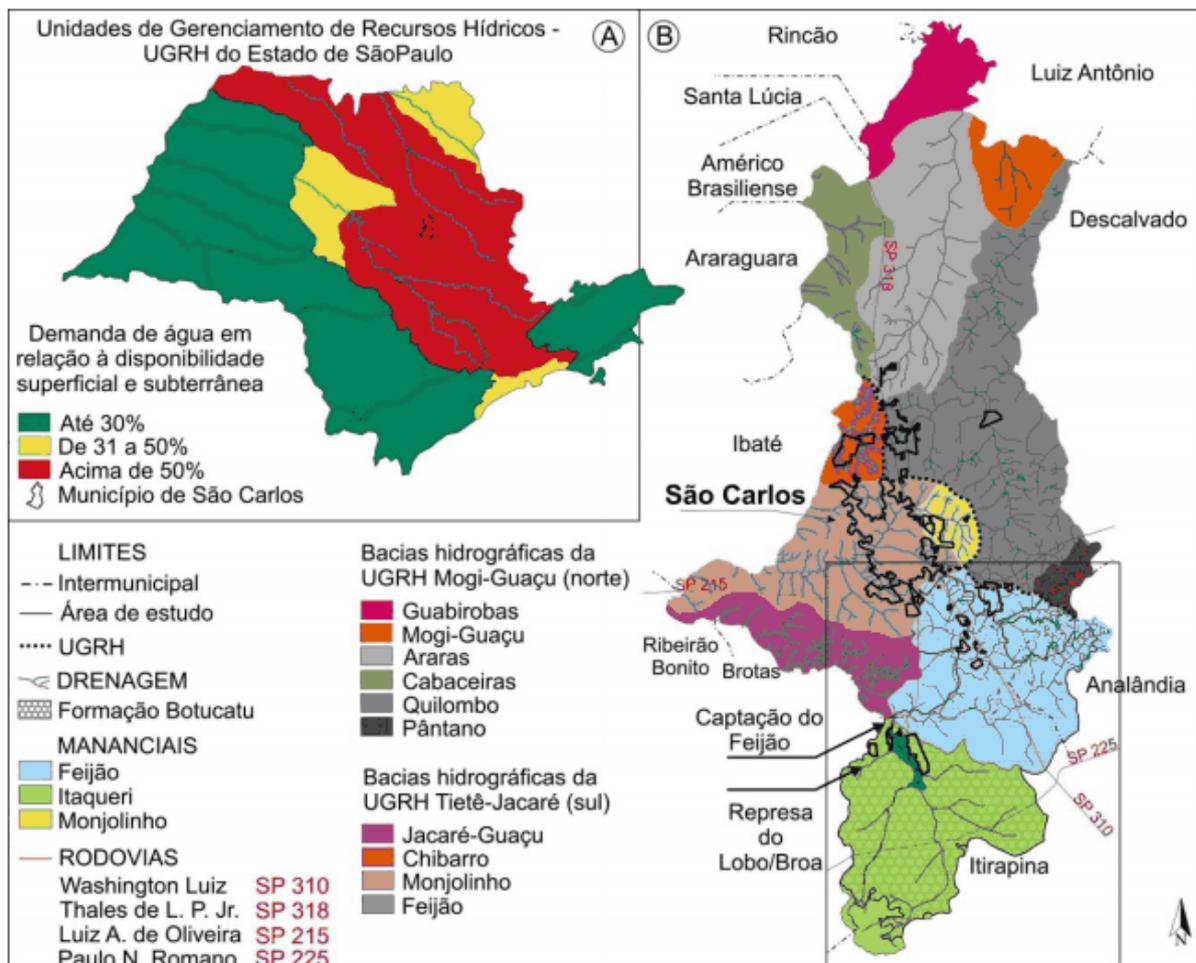


Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento.
Fontes: Adaptado de (A) São Paulo (2009) e (B) Tundisi *et al.* (2007) *apud* Costa *et al.* (2013).

A BHRF tem sua nascente no alto do planalto de São Carlos, seu curso médio e alto drena uma região caracterizada por suaves ondulações esculpidas sobre os sedimentos

arenosos cenozoicos e residuais da Formação Botucatu. Essa formação possui altos coeficientes de permeabilidade, sendo que a infiltração se dá basicamente na área aflorante caracterizada região como de recarga do Aquífero Guarani (ZUQUETTE, 1981; GONCALVES, 1986).

O município de São Carlos localiza-se no interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu, com altitudes variando entre 600 a 900m, com vertentes de baixa declividade, formas de relevo de colinas de topos convexos e tabulares (ROSS; MOROZ, 1997). As unidades geológicas que afloram são sedimentos clásticos predominantemente arenosos e as rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento (Mesozóico da Bacia do Paraná), as rochas sedimentares do Grupo Bauru (Bacia do Bauru) e sedimentos pertencentes à Formação Itaqueri e depósitos correlatados (das Serras de São Carlos e Santana), de idade cretácea e cenozóica (Figura 8) e pelos depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos coluviões e eluviões (CBH-TJ, 2013).

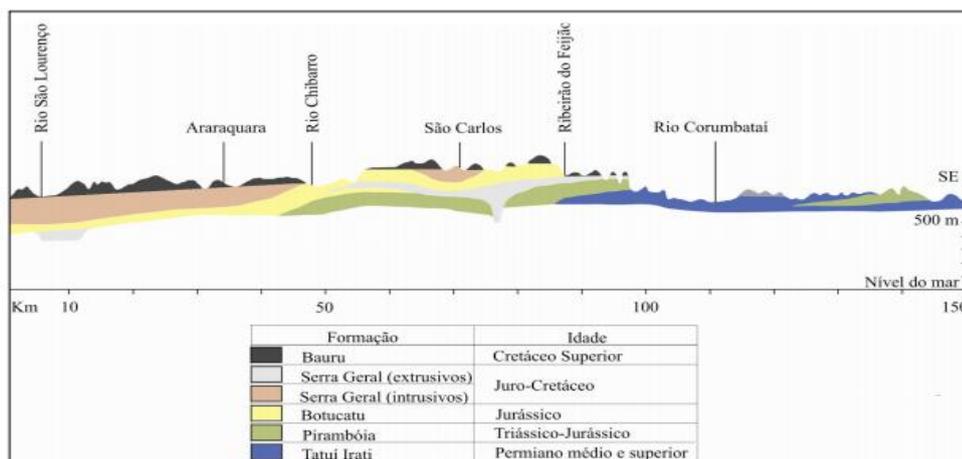


Figura 8 - Seção geológica da região de São Carlos
Fonte: Adaptado de Zuquette (1981) apud Costa et al. (2010).

Segundo a subdivisão geomorfológica do Estado de São Paulo, a cidade está inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas (CBH-TJ, 2014), com a classe de solos predominante de latossolo roxo, vermelho escuro e vermelho amarelo. Outros tipos de solo presente na região são os podzólicos vermelho amarelo, terra roxa estruturada, areia quartzosa e litossolos (MIRANDA, 2005 apud FERRARI, 2012).

Considerado tropical de altitude no domínio de clima Cwa da classificação internacional Köppen, é caracterizado por verões chuvosos e invernos secos com médias térmicas entre 18°C a 22°C. A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais (Figura 9).

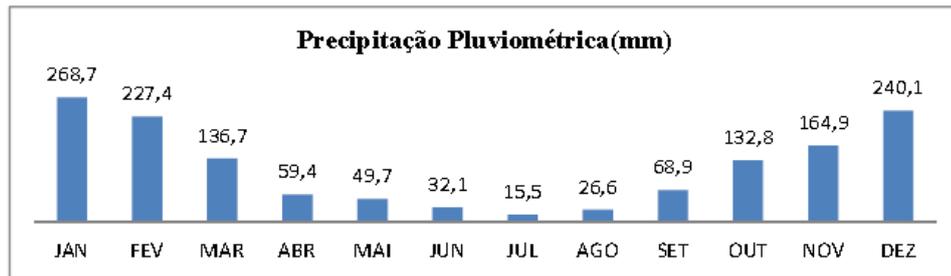


Figura 9 - Precipitação pluviométrica em milímetro do ano de 2012, do município de São Carlos SP.
Fonte: CEPAGRI, 2015.

Sua localização, associada ao potencial hídrico, o torna estratégico para o desenvolvimento econômico social da região. As principais utilizações dos corpos d'água são para abastecimento público e industrial, contribuinte para geração de energia elétrica, recepção de efluentes domésticos e irrigação de plantações. Quanto às principais atividades destacam-se as usinas de açúcar e álcool, processamento de cítricos, mineração, curtumes e fundições (CBH-TJ, 2013).

A Figura 10 mostra uma região de cabeceiras onde ocorrem as nascentes do Ribeirão do Feijão, principal manancial de abastecimento urbano de São Carlos, com a presença de taboa (*Typha dominguis*), espécie com potencial de controle parasitário (SILVA *et al.*, 2010) e depuradora da água⁷. A manutenção da qualidade da água nesta região deve-se à conservação destes ambientes naturais .



Figura 10 - Área alagada do Ribeirão do Feijão. Lat. 22°11'29.10''S e Long. 47°54'16.00''O
Fonte: Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2010.

⁷ Outros usos <http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_tydo.pdf>.

3.1.2 Usos da terra

A primeira atividade econômica expressiva ocorreu na metade do século XIX, quando a produção de café teve início e causou grande desmatamento na região reforçado pela chegada da ferrovia que facilitou o escoamento da produção para o porto de Santos. Com a crise do café em 1929, muitos imigrantes, principalmente italianos, aplicaram os lucros obtidos na infra-estrutura urbana, fator que torna a cidade um centro manufatureiro diferenciado (CBH, 2013; SÃO CARLOS, 2015). Originalmente, estes biomas eram savana (Cerrado) e Floresta Estacional Semidecídua (SOARES *et al.*, 2003).

As principais atividades produtivas rurais desta região são cultivos de cana de açúcar, laranja e pastagem de criação extensiva, sendo importantes contribuintes da produção do estado. Entre 2006 e 2012, segundo o SEADE (2015), a produção de cana de açúcar aumentou em 870.195t enquanto que a laranja houve uma redução de 228.174t. É importante destacar que estas atividades estão sendo desenvolvidas há décadas e que, apesar de serem importantes para a economia representam uma ameaça aos serviços ecossistêmicos. As monoculturas de cana, laranja e eucalipto, por exemplo, poderiam ser cultivadas em curva de nível para evitar o carreamento do solo. As pastagens também sofrem pela ausência de manejo, sendo a compactação do solo o principal motivo para a abertura de novas áreas. Enquanto a agricultura aumenta a oferta dos chamados serviços de “provisão” tais como produção de alimento, fibra e energia, ela também é capaz de impactar substancialmente outros serviços de regulação devido à remoção da vegetação nativa. O uso inadequado do solo através da agricultura intensiva faz com que contaminantes cheguem até o lençol subterrâneo (ZUQUETTE, 1981; TUNDISI, 2005). Pode-se inferir que a substituição de floresta tropical por área agrícola convencional implica na eliminação ou degradação de ao menos dez serviços ecossistêmicos listados por Costanza *et al.* (1997): regulação climática, regulação de distúrbios, provisão de água, controle de erosão, formação de solo, ciclagem de nutrientes, tratamento de resíduos, recreação, valores culturais e estoque de informação genética.

3.1.3 Unidade de Conservação

As florestas tropicais, embora alcancem apenas 2% da superfície terrestre, abrigam metade das espécies terrestres de plantas e animais conhecidas (MILLER e SPOOLMAN, 2011, p.75). Além disso, as árvores possuem importante papel na proteção dos solos e dos recursos hídricos, pois protegem o solo da degradação e atuam como um filtro purificador da água. Os detritos da floresta e a vegetação rasteira também contribuem com a qualidade da

água através da filtragem de poluentes, limitando o escoamento superficial e controlando os fluxos nas épocas de cheias ou secas (FAO, 2015a).

No intuito de proteger os ecossistemas aquáticos (rios, pântanos e represas) e terrestres, a área da região central do Estado de São Paulo pertence à Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí (Lei Estadual nº 20.960⁸ de 1983). As glebas de terras dos municípios de São Carlos, Itirapina, Brotas, Rio Claro e Corumbataí apresentam um conjunto de condições ambientais que ainda preservam elementos significativos da flora e da fauna, sendo as Cuestas um importante divisor de águas. Nestes locais, nascem em suas encostas muitos rios e várias fontes que ainda não foram atingidas pelas indústrias, prevalecendo atividades do setor primário e terciário.

Apesar de previsto desde 2001 com a promulgação do Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), o Plano Diretor do Município de São Carlos foi aprovado somente em 25 de novembro de 2005 por meio da Lei Municipal Nº 13.691 (São Carlos, 2005). A partir dessa lei, as bacias hidrográficas do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão são consideradas Áreas de Proteção e de Recuperação dos Mananciais, apresentando restrições ao crescimento urbano, o que deveria conter o crescimento da mancha urbana nessas áreas” (COSTA, 2013).

Porém, como será visto adiante, o desrespeito e não cumprimento à legislação vigente é identificado através do acompanhamento da expansão da mancha urbana de São Carlos, avançando à noroeste da BHRF.

3.2 Estudos anteriores

A predição de cenários articulada com análises temporais são importantes medidas protecionistas para assegurar a oferta e eficácia da gestão dos recursos hidrológicos da bacia garantindo suas funções social, ambiental, cultural, religiosa, estética, entre outras. Estudos realizados por Cunha (2011b), Costa *et al.* (2012, 2013, 2015a) e Cavalcante (2013) apontaram a importância do ordenamento do uso e ocupação do solo para o município de São Carlos, especialmente próximo às nascentes do Ribeirão do Feijão.

Embora o artigo 4 da Lei nº 13.944/2006 (SÃO CARLOS, 2006) incentive a proteção e recuperação dos mananciais, o mapeamento da bacia, neste mesmo ano de promulgação da lei, indicou a presença de atividades potencialmente degradantes em nascentes, declives superiores à 45° e nas margem dos rios (Figura 11). Considerando todas as ações de

⁸ Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/decreto/1983/1983-Dec-20960.pdf>> Acesso em jul, 2015.

conversão da vegetação nativa, as alterações antrópicas representam 83,5% de modificação da paisagem natural (Tabela 8).

Tabela 8 - Situação do Uso e cobertura do solo na BHRF em 2006.

Classe temática	Área ocupada (ha)	% da bacia (T= 22.269)
1. Mata ciliar	2.356,03	10,58
2. Área Urbana	1.087,92	4,89
3. Cerrado	1.289,93	5,79
4. Reflorestamento	2.279,5	10,24
5. Solo exposto	2.855,16	12,82
6. Pastagem	8.624,57	38,73
7. Cana de açúcar	679,62	3,05
8. Laranja	3.083,64	13,85

É importante frisar que as atividades silvopastoris, manejo sustentável, extrativismo, reflorestamento e tratamento de efluentes são atividades previstas nas APPs (SÃO CARLOS, 2006). Porém, o uso e o armazenamento de produtos que possam colocar em risco a integridade e a qualidade dos corpos d'água é proibido, ou seja, os insumos químicos comumente utilizados nos monocultivos bem como os efluentes industriais não deveriam afetar negativamente os padrões químicos do manancial.

Através do Valor Anual Equivalente (VAE) das classes 4, 6, 7 e 8 foi estimado qual seria os custos de oportunidade de cada atividade por ha e qual o valor do SA de proteção hídrica atribuído pela população beneficiária do manancial através de questionário sobre a DAP (MACHADO *et al.*, 2016 no prelo). Os proprietários rurais que se dispuserem a reflorestar seus pastos e converter suas lavouras em matas reflorestadas receberiam uma compensação ambiental pela oferta destes serviços.

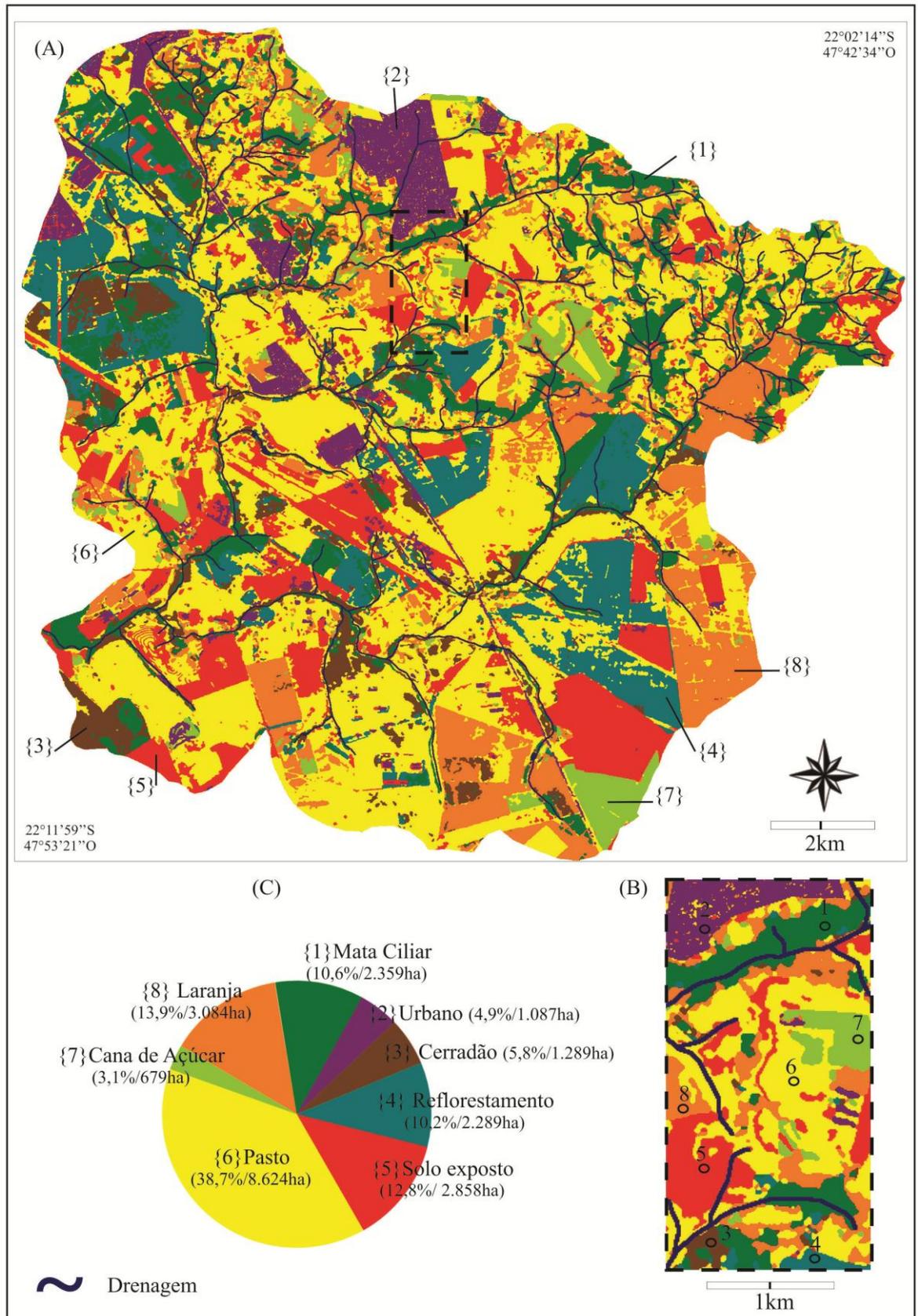


Figura 11 - Mapa de uso e cobertura do solo da BHRF, 2006.
Fonte: Cunha (2011a).

O valor líquido das culturas presentes na bacia acordo com a área ocupada (ha) estimado por Machado *et al.*(2016, no prelo) foi de R\$13.392.119,95 por ano enquanto que a disposição a pagar (DAP) média da população pela proteção/conservação do manancial foi de R\$3,07 representando 61% do lucro líquido dos produtores rurais (Figura 12).

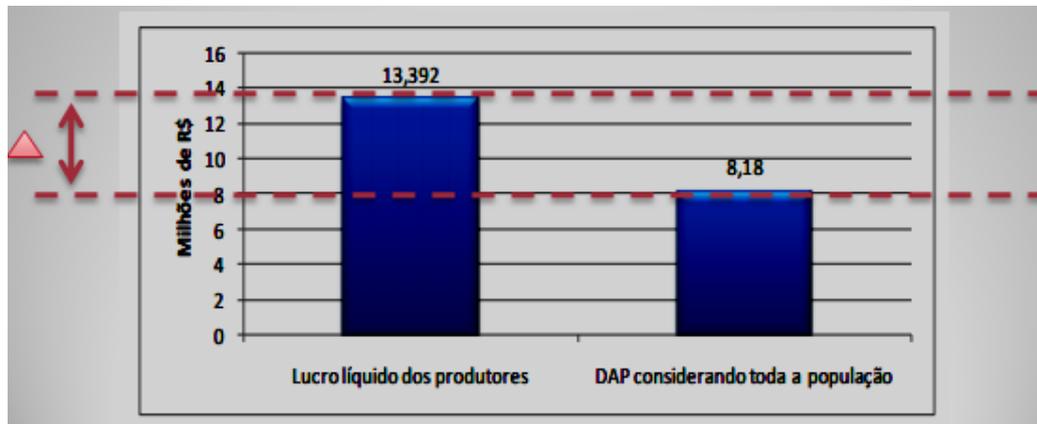


Figura 12 - Disposição a pagar (DAP) da população são carlense à proteção ambiental
Fonte: MACHADO *et al.* (2016, no prelo).

Apesar de 89% dos entrevistados considerarem a questão ambiental e de preservação importante, somente 67,5% da população tinha algum tipo de conhecimento sobre o manancial do Ribeirão do Feijão e 56% estavam dispostos a pagar até R\$3,07 reais a mais na conta de água para destinar o recurso arrecadado à proteção ambiental da bacia (MACHADO *et al.*, 2016, no prelo).

3.3 Etapas do estudo

Considerando a importância local (manancial de São Carlos e parte da APA), regional (contribuinte da UGRHI Tietê-Jacaré) e internacional (área de afloramento do SAG), a estimativa de perda do solo recebe particular interesse, pois a retenção de sedimentos gera impactos na qualidade da água. Para isto, buscou-se na literatura programas de compensação ambiental cujas ações executadas no meio rural estivessem voltadas para redução da erosão e do assoreamento de mananciais. A partir daí foram elaboradas estratégias similares de seleção de áreas prioritárias (subseção 3.3.1), simulação de reconstituição da vegetação nativa (subseção 3.3.2) e monitoramento da área recuperada (seção 4.4). Através do processamento (seção 4.1) das imagens digitais e tratamento de rotina, foram contabilizadas especialmente as áreas convertidas em pastagem e os usos agrícolas na bacia. A inferência da distribuição da degradação serviços ecossistêmicos e demanda pelos serviços ambientais (DAP) sinaliza prováveis partes interessadas (*stakeholders*) em consolidar este tipo de contrato.

Também foi estimado o custo de oportunidade (subseção 3.3.4) do produtor rural (vendedor do SA) disposto a ceder sua área produtiva para o plantio de mudas nativas e assumir a responsabilidade de proteção e manutenção das áreas reconstituídas (seção 4.5).

Finalmente, foi analisada a viabilidade econômica (seção 4.5) de implementação do programa PSA hipotético e elencadas práticas de melhor manejo. O resumo dos processos é ilustrado no esquema a seguir (Figura 13) que permite a replicação através inserção dos dados de outras bacias de estudo.

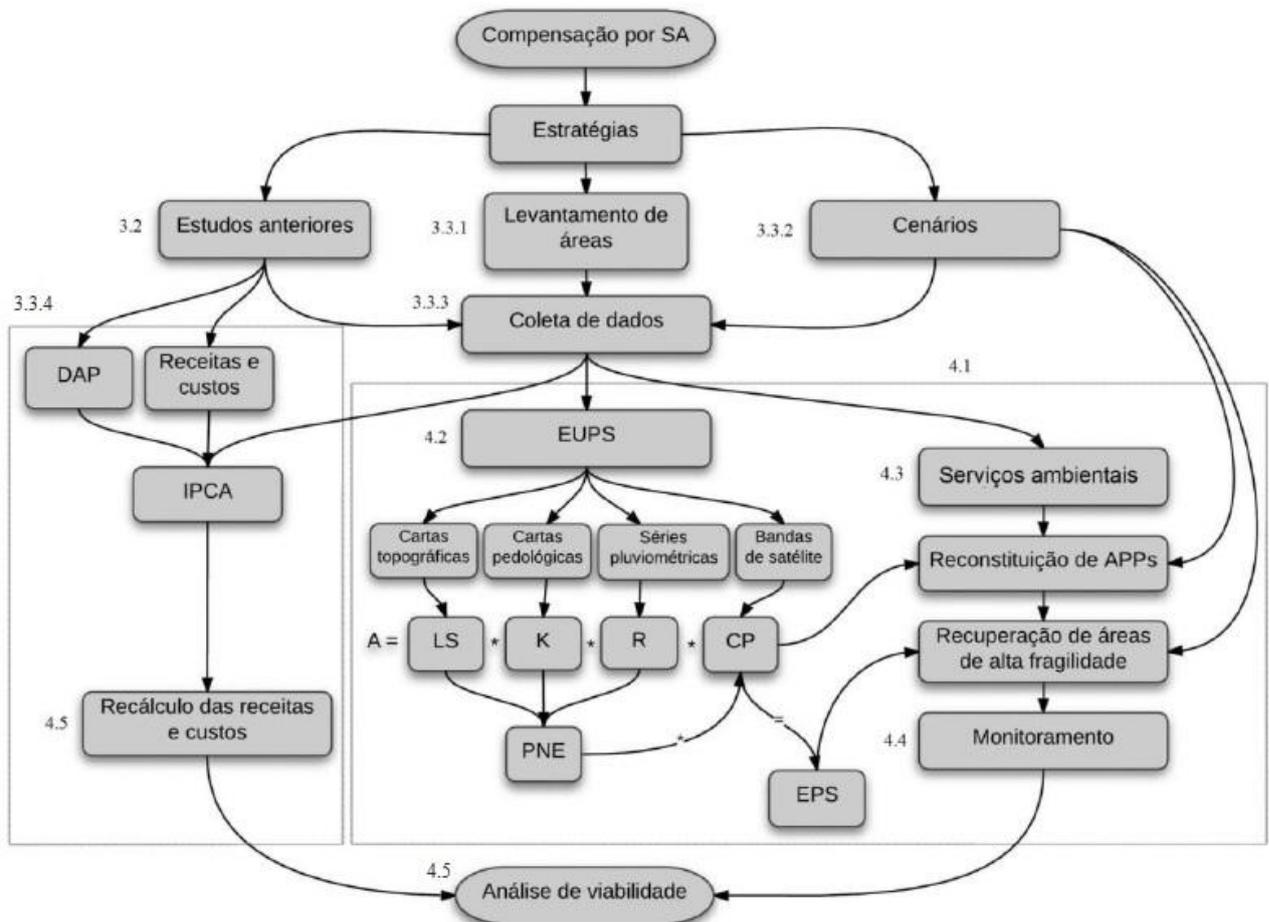


Figura 13- Diagrama dos processos.

3.3.1 Levantamento das áreas elegíveis

Para seleção das áreas favoráveis à conservação e restauração SE, foram realizados dois mapeamentos de linha de base, isto é, que definem as características da bacia antes da implementação de um programa:

- Mapa de Uso e Cobertura do Solo (MUCS) que identifica espacialmente as condições vegetativas e interferências antrópicas no solo;
- Expectativa de Perda de Solo (EPS) que indica as áreas com alta suscetibilidade de perder o solo por erosão.

Os mapas foram georreferenciados com o sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Datum horizontal Córrego Alegre, Datum vertical Marégrafo de Imbituba e Meridiano Central 45° W.

3.3.2 Cenários de predição

Considerando os mapeamentos de linha de base, foram analisadas as áreas mais propícias à reconstituição da vegetação nativa. Dois critérios foram considerados:

- a) Áreas cujos serviços ecossistêmicos estejam sendo degradados ou com risco de degradação;
- b) Áreas de fragilidade ambiental com pressões pelo uso do solo e propensão a grandes perdas de solo por erosão.

Cenário 1 – Recuperação das Áreas de Preservação Ambiental (APP)

As APPs, em geral, são cobertas por vegetação nativa, tendo a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2002a, 2002b; NOWATZKI *et al.*, 2010).

Seguindo as resoluções 302 e 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA que estabelecem parâmetros, definições e limites referentes às APPs. e em concordância com a Lei 12.727 de 2012, foram definidas:

- a) Faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) Áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

c) Encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.

As áreas foram delimitadas com as funções BUFFER, DISTANCE e RECLASS do SIG e sobrepostas ao MUCS para verificação do uso e ocupação do solo destas áreas. Assim como no mapeamento de 2006, para as imagens de 2012 foram identificados déficit de cobertura vegetal em áreas legalmente protegidas, sendo sua recuperação definida como cenário prioritário.

A definição do tamanho da propriedade em MF classificará a obrigação ou não do produtor rural a adequação destas áreas. Os programas vistos na literatura prevêm o auxílio financeiro para os pequenos proprietários rurais que prestarem serviços de recuperação e proteção dos corpos hídricos com duração de até 5 anos. Dentro deste prazo, nascentes, olhos d'água e rede de drenagem são cercados para proteção e o plantio de mudas nativas são realizado nas margens dos rios, declives superiores à 45° e criados corredores ecológicos. Entende-se que o custo de recuperação de áreas protegidas que foram historicamente convertidas sejam uma obrigação de todos que se beneficiam dos seus serviços.

Cenário 2 – Recuperação de APP + alta fragilidade

A área de fragilidade é mais abrangente na faixa linear marginal circundante aos cursos d'água ou zona ripária podendo ter largura maior que o estabelecido no Código Florestal. A preservação das áreas como várzeas, interstícios dos sedimentos, zonas subterrâneas e florestas ripárias tem o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (BRASIL, 2002c). Nestas zonas de amortecimento, ocorrem vários processos essenciais à manutenção qualitativa e quantitativa da água, além da promoção do equilíbrio estrutural do próprio canal de escoamento (LEAL *et al.*, 2013).

Com o levantamento da EUPS, foi constatado que algumas regiões com severa suscetibilidade de erosão encontram-se espacialmente nas APPs, sinalizando a urgência de proteção das mesmas. Desta forma, além da recomposição da vegetação nativa nas APPs, foi também simulada a recuperação de áreas com severa, muito severa e extremamente severa suscetibilidade à erosão (Tabela 7 - Classes interpretativas de EPS., p.46). Através da função RECLASS do SIG e da sobreposição ao MUCS, foram identificadas as atividades agrícolas e pecuárias presentes na área.

Como o novo código, em seu artigo terceiro, prevê nos casos de reposição florestal a prioridade na utilização de espécies nativas do mesmo bioma onde ocorreu a supressão (BRASIL, 2012b,c), foi considerada na modelagem de recuperação de áreas fragilizadas a classe temática 3 Cerrado. Para efeitos comparativos, também foi realizada a simulação com a classe temática 1 Mata ciliar.

3.3.3 Modelagem dinâmica espacial

A EUPS (Equação 1) postulada por Wischmeier e Smith (1978) é uma abordagem alternativa para quantificar a provável erosão do solo sob uma gama de manejo na escala da bacia hidrográfica (JAMSHIDI *et al.*, 2013). O modelo prediz a média anual a longo prazo da perda de solo utilizando os seis fatores que afetam a erosão hídrica do solo (RODRIGUES *et al.*, 2013) descritos a seguir.

O fator de erosividade da chuva (2.6.1 Fator **R**) foi definido a partir das informações de séries históricas (1961-1990) de pluviosidade para todo o Estado de São Paulo e calculado em 7.362 MJ.mm/ha/h/ano através do *software* NetErosividade, valor considerado alto (MELLO *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A erodibilidade do solo (2.6.2 Fator **K**) é relacionada com as características intrínsecas do solo, como permeabilidade, porosidade, textura e composição. A carta pedológica (OLIVEIRA e PRADO, 1984) na escala 1:100.000 foi digitalizada (LUZ, 2012) e associada com valores de referência (CHAVES, 1994; SILVA *et al.*, 2004) conforme a metodologia proposta por Carvalho (1994, *apud* SILVA e ALVARES, 2005) apresentando alto valor em quase 90% dos solos, conforme a interpretação da Tabela 5, p. 43.

Foram digitalizadas as estradas, a rede de drenagem e curvas topográficas com espaçamento de 20m das folhas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (2014) na escala 1:50.000 e criado o Modelo Digital de Terreno (MDT). A estrutura topográfica permitiu o *software* USLE-2D (DESMET e GOVERS, 1996) calcular o fator de declividade e comprimento de rampa (2.6.3 Fator **LS**) da EUPS para a bacia hidrográfica.

A definição do fator de cobertura (2.6.4 Fator **C**) da área de estudo foi realizado a partir do mapa de uso e cobertura do solo (MUCS) com bandas do sensor LISS 3 do satélite russo RESOURCE-SAT de resolução 23,5m. A composição colorida falsa cor foi feita com as bandas 3, 4 e 5 (C345) e a classificação dos tipos de cobertura com a metodologia de Máximo Verossimilhança descrita por Eastman (2012). Finalmente, foram adotados valores

relacionados aos temas identificados na classificação supervisionada a partir de consulta à literatura (LUZ, 2012, p. 54).

Ainda que tenha sido identificado, no trabalho de campo, o plantio em curva de nível e a construção de algumas barraginhas próximas à rodovia que atravessa diagonalmente a bacia, a quantidade não foi significativa para que fossem extrapolada para toda a área, sendo definido, portanto o fator (2.6.4 Fator **P**) em 1 para toda a bacia.

Considerando somente fatores físicos naturais interferindo na perda do solo, isto é, admitindo-se que o solo esteja descoberto e desprovido de práticas protecionistas e conservacionistas é obtido o Potencial Natural de Erosão (PNE) e incluindo a cobertura vegetal e as práticas de manejo é estimada a Expectativa de Perda do Solo (EPS). Ambos indicadores (PNE e EPS) são divididos em classes interpretativas de susceptibilidade à erosão (descritas no item 2.6), diferenciam-se na influência da cobertura ou ausência de vegetação e constituem importantes ferramentas de monitoramento dos PSA.

3.3.4 O custo de oportunidade

Com base no levantamento do uso e cobertura do solo, foram estimados os custos de produção e venda das atividades agrícolas presentes na bacia, pois o custo da conversão da área varia conforme a atividade exercida. Segundo Machado *et al.* (2016, no prelo), o intuito da estimativa é identificar o aporte financeiro necessário para ressarcir os proprietários rurais que se dispusessem a criar as fazendas produtoras de água.

Apesar de representar uma possível área de atividade econômica, o solo exposto foi considerado área de rotatividade sendo definidas nesta análise áreas de eucalipto, pastagem (gado de corte), cana de açúcar e laranja. Por questão de facilidade, ao invés de realizar a estimativa do abatimento de erosão e sedimentação por propriedade individual, como seria o caso do Programa Produtor de Água na prática (ANA, 2012), este cálculo foi realizado por tipo de uso de solo. Para tanto, supôs-se que propriedades com mesmo tipo de uso teriam desempenhos ambientais semelhantes.

Segundo Dossa *et al.* (2000), o VPL estima o valor atual de um fluxo de caixa, usando para isso uma taxa mínima de atratividade de capital. Essa metodologia é uma das alternativas mais usuais para análise de investimentos, apesar de não incluir análise do risco de mudança em suas variáveis, dada pela Equação 4:

Equação 4 - Valor presente líquido

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}$$

Onde:

R_j = Receita ocorrida no período j ;

C_j = Custo ocorrido no período j ;

i = Taxa de juros correspondente ao período;

j = Período de ocorrência de receita ou custos; e

n = Número máximo de períodos.

A taxa de juros (i) utilizada para o cálculo do VPL foi definida em 5,5% de acordo com os programas de crédito rural (BNDES, 2015). Para uniformizar os diferentes valores e prazos das coberturas analisadas, foi utilizado o valor anual equivalente (VAE) expresso pela Equação 5:

Equação 5 - Valor anual.

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

Onde:

VAE = Valor anual equivalente;

VPL = Valor presente Líquido;

i = Taxa de atratividade do período;

$-n$ = Número total de períodos de tempo.

Devido à carência de dados, principalmente de custo de produção, utilizou-se custos e receitas da produção agrícola de diferentes bases de dados em períodos distintos, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Ano do custo e receita das atividades agropecuárias.

Cultura	Ano	Fonte
Eucalipto	2007	Anuário da Agricultura Brasileira - Agriannual (2008 <i>apud</i> Galo, 2008)
Gado de corte	2009	Anuário da Pecuária Brasileira - Anualpec (2010)
Cana de açúcar	2011	Federação da Agricultura do Estado de Goiás - FAEG (2011)
Laranja	2004	Ghilardi <i>et al.</i> (2004) e Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA, 2010)

Fonte : MACHADO, 2011.

Os valores de receitas e custos foram corrigidos monetariamente para 2014 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) dado pela Tabela 10.

Tabela 10 - Índice de inflação anual IPCA/IBGE.

Ano	IPCA (% ano)
2004	7,60
2005	5,69
2006	3,14
2007	4,46
2008	5,90
2009	4,31
2010	5,91
2011	6,50
2012	5,84
2013	5,91
2014	6,41

Fonte : IPCA/IBGE, 2015.

É importante frisar que apesar dos preços serem atualizados para 2014, as imagens de satélite de referência ao uso e ocupação do solo são de 2012. Com intenção de simplificar a metodologia de uma possível implantação de um programa PSA (especificamente as etapas de mapeamento e monitoramento), considerou-se que o uso e cobertura do solo manteve-se inalterado.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises da delimitação e caracterização das áreas elegíveis, simulação de recuperação dos cenários, cálculos de viabilidade econômica e discussão da implementação de um programa PSA hipotético são descritos a seguir.

4.1 Geoprocessamento

O sensor LISS-III lançado a bordo do satélite IRS-P6 ou RESOURCESAT-1 fornece informações relacionadas a vegetação, caracterização de culturas e espécies vegetais com resolução espacial de 23,5 metros para os canais espectrais descritos na Tabela 11 em faixas imageadas de 141 km (INPE, 2014b). Porém, não possui banda espectral azul o que dificultou a Classificação por Máxima Verossimilhança vistos na composição colorida falsa cor C345 (Figura 14).

Tabela 11 - Especificações do sensor LISS-III.

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
LISS III (Linear Imaging Self-Scanner) Satélite IRS-P6 (RESOURCESAT-1)	Verde	0,52-0,59 μm	23,5 m	24 dias	141 km	7 bits
	Vermelho	0,62-0,68 μm				
	Infravermelho próximo	0,77-0,86 μm				
	Infravermelho médio	1,55 - 1,70 μm				

Fonte : INPE, 2014b.

Observa-se também, na Figura 14, que os círculos vermelhos apresentam confusão de informação. Os círculos inferior à direita e central representam solo exposto, porém no caso do círculo ao norte, a resposta espectral coincidiu com o círculo superior à noroeste da bacia que representa área urbana. Também são verificadas não concordâncias nos retângulos amarelos inferiores, áreas colhidas (inferência correspondente ao MUCS de 2006) que foram classificados com o tema pastagem devido ao baixo dossel. Isto se deve à utilização de imagens de média resolução espacial e a mistura de temas em alguns pontos onde os alvos são

de tamanho relativamente reduzido. Rodrigues (2009) analisou a diferença entre resoluções espaciais dos sensores AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT considerando a matriz do erro (índice Kappa) cujas resoluções espaciais são 10, 20 e 30 metros, respectivamente. A autora verificou que não só menores resoluções espaciais apresentam maior conformidade com a verdade terrestre, como alguns temas, por serem mais homogêneos, têm sua classificação com maior qualidade, (p.60).

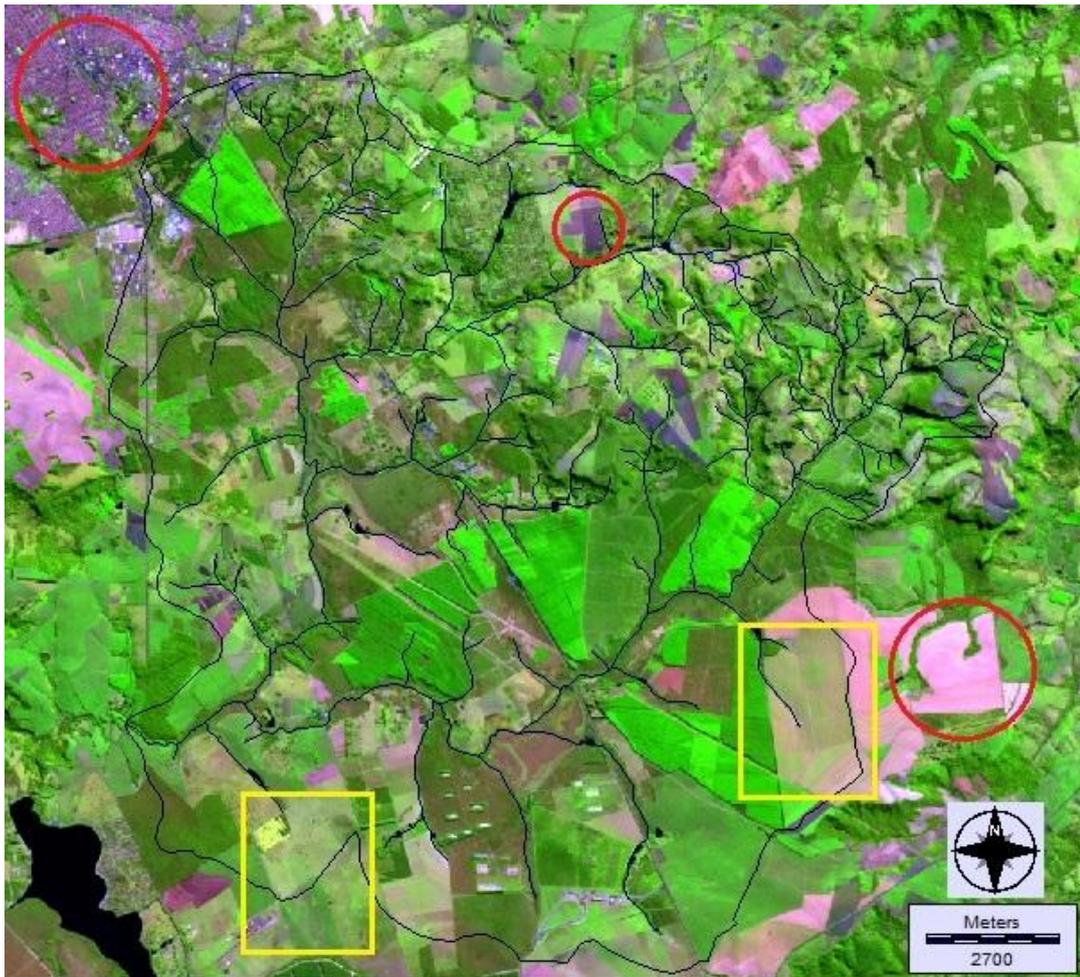


Figura 14 - Composição colorida falsa cor. Bandas 3, 4 e 5.

Rodrigues (2013) comenta outros fatores que influenciam no geoprocessamento, por exemplo, a umidade presente no solo que torna-o mais escuro e absorvente de maior energia, o que modifica a reflectância⁹ registrada por sensores remotos. É por este motivo que os mesmos tipos de culturas (mesma classe temática) podem apresentar padrões de reflectância variados, estando diretamente relacionado com sua fase e progressão (PUERTAS *et al.*, 2014). A qualidade da classificação pode ser comprometida também pelas áreas de transição,

⁹ Esta medida pressupõe a radiação incidente e refletida em todas as direções, não variando a distribuição espacial dos fluxos de radiação refletido e incidente (NOVO, 2010).

muitas vezes abruptas, entre os temas e por variações nas respostas espectrais dos alvos, como a quantidade de água no solo ou na vegetação em diferentes épocas do ano (sazonalidade). Portanto, é imprescindível o trabalho de campo para conferência e reclassificação dos pontos de conflito (RODRIGUES, 2009).

Foi realizado o trabalho de campo para registro das coordenadas geográficas e conferências dos pontos de conflito em junho de 2014. Estas coordenadas foram medidas com GPS *Garmin*, extraídas com o programa *TrackMaker* e checadas com as imagens do Google Earth. O reconhecimento da área de estudo foi de fundamental importância também para averiguação das práticas conservacionistas da bacia (fator P).

Para o levantamento e estudo prévio das áreas elegíveis e simulação de monitoramento temporal do uso e cobertura do solo, o sensor apresentou aceitável precisão e baixo custo. Porém, num estágio mais avançado de elaboração e concretização de contratos de compra e venda de SA é recomendado o uso de sensores com menores resoluções espaciais, maiores faixas de cobertura do espectro e trabalho de campo para demarcação de propriedades (glebas) para aquisição de dados mais precisos e confiáveis.

4.2 Os fatores da modelagem

Para compor a análise de suscetibilidade à erosão, foram considerados os seguintes procedimentos fatores da modelagem EUPS:

4.2.1 Erosividade da chuva

O valor anual de erosividade da chuva encontrado para a área de estudo foi de 7.362 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. De acordo com Mello *et al.* (2007), representado na Tabela 4 (p. 41), o valor de erosividade encontrado para a bacia pode ser classificado como alto, o que significa que o fator pluviométrico exerce grande influência na perda de solo da bacia.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999), a precipitação é o elemento climático de maior importância para a ocorrência da erosão, pois é desta que dependem o volume e a velocidade do escoamento superficial sendo sua intensidade a característica mais importante. Silva *et al.* (2013) comentam que o risco de degradação do solo em regiões brasileiras é muito mais elevado devido às condições climáticas tropicais dominantes e à susceptibilidade quanto a erosividade das chuvas bem como da erodibilidade de alguns dos seus solos.

4.2.2 Erodibilidade do solo

O mapa pedológico (Figura 15), da área de estudo, indicou o predomínio de areia quartzosa profunda em 42% e latossolo vermelho amarelo em 33% da bacia, ambos com valores altos associados (Tabela 12). A areia quartzosa profunda não possui argila em sua composição, portanto possui raso poder de agregação do solo. Localizada na região mais plana da bacia, favorece à sedimentação da bacia visto que há baixa retenção do solo. Já o latossolo vermelho-amarelo é encontrado nas partes altiplanas da bacia, onde localizam-se várias nascentes dos rios. Devido suas condições físicas favorecerem o agregamento do solo, é um tipo de solo receptivo à mecanização, portanto além dos cultivos é necessária a proteção das APPs.

Outros tipo de solo com alto valor de erodibilidade é o solo hidromórfico (0,038) que ocorre nos cursos do Ribeirão do Feijão e o solo neossolo litólico (0,040) encontrado nas regiões das Cuestas Basálticas.

Tabela 12 - Valores médios do fator K.

Tipos de solo	Fator K (t.h/MJ.mm)	Interpretação	Fonte
Solo Hidromórfico	0,038	Alto	Silva, 2004
Neossolo Litólico	0,040	Alto	
Latossolo Roxo	0,013	Baixo	
Areia Quartzosa Profunda	0,032	Alto	
Latossolo Vermelho escuro	0,014	Baixo	
Latossolo Vermelho amarelo	0,032	Alto	
Argissolo	0,040	Alto	
Podzólico Vermelho Amarelo	0,033	Alto	Chaves, 1994
Terra roxa estruturada	0,011	Baixo	
Média	0,028		

Fonte : Adaptado de LUZ, 2012

Considerando todos os tipos de solos com alto estas áreas chegam a quase 90% dos solos com altos valores de erodibilidade.

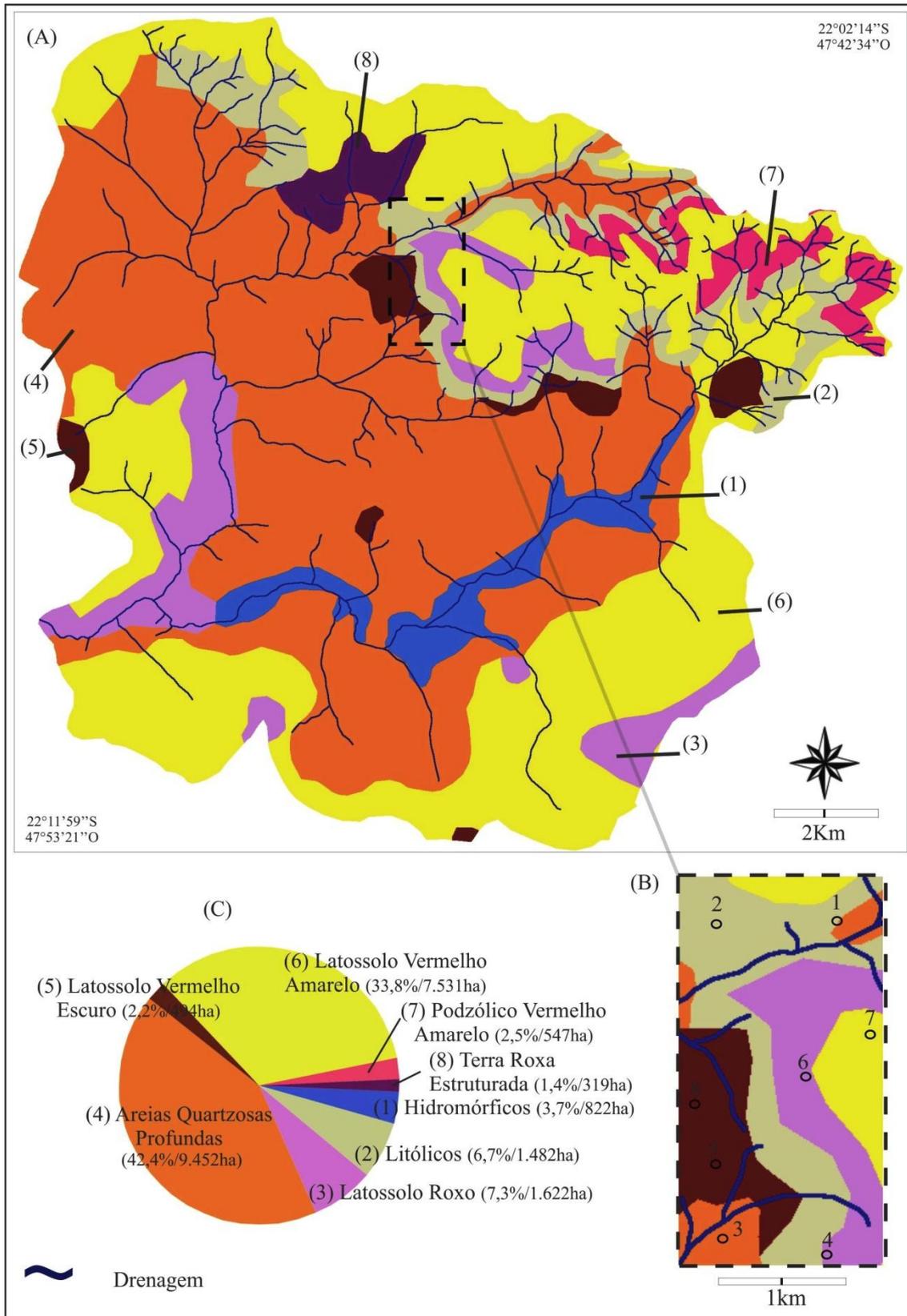


Figura 15 - Mapa pedológico da BHRF.
 Fonte: Adaptado de Oliveira e Prado, 1984 *apud* LUZ, 2012

4.2.3 Fator topográfico

O comprimento e a declividade das vertentes são características do relevo local, e sua influência está relacionada à energia potencial associada ao escoamento e ao ângulo de incidência das chuvas. Assim, vertentes mais íngremes favorecem a erosão do solo, à medida que proporcionam aumento da velocidade do escoamento superficial (ZONTA *et al.*, 2012).

O mapa do fator LS (Figura 16), mostra as seis classes delimitadas, de acordo com a metodologia utilizada por Silva e Schulz (2003), representada na Tabela 6 (p. 42). De acordo com tais autores, valores entre 0 e 0,99 indicam que o relevo atua como amenizador do processo erosivo. Valores exatamente iguais a 1 aplicados ao modelo denota 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 contribuição para a entrega de sedimentos.

Verifica-se, pelo mapa do fator LS que as regiões norte e nordeste da bacia é caracterizada pelas maiores cotas altimétricas e portanto, são as que mais contribuem com a erosão hídrica. A presença de várias nascentes nesta região reforça a importância da estabilização das ribanceiras do rio através do emaranhado de raízes, principalmente nestas áreas com maiores declividades.

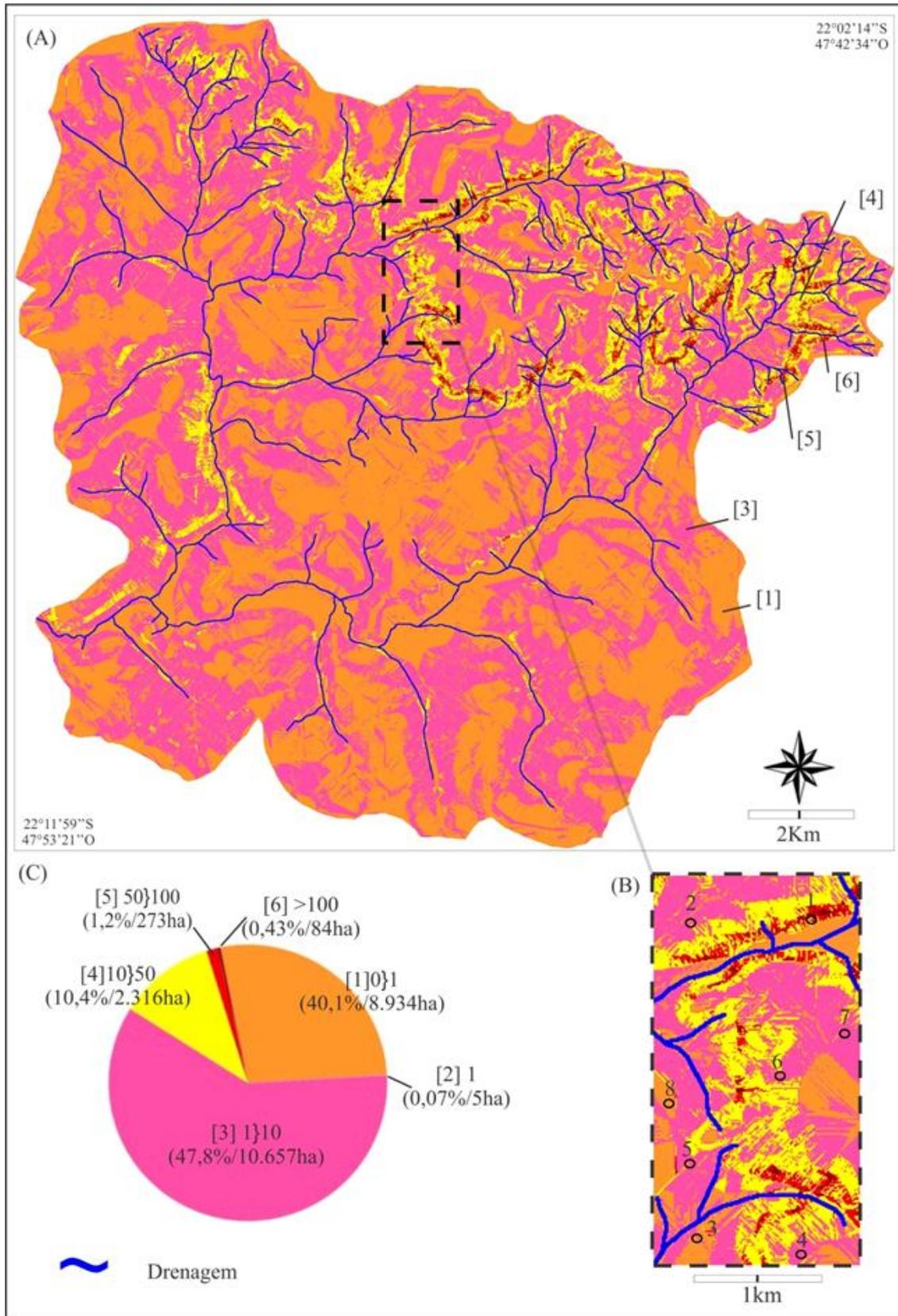


Figura 16 - Fator LS para BHRF.
Fonte: LUZ, 2012.

4.2.4 Fator cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas

A partir da composição colorida falsa cor de imagens com resolução 23,5m do satélite RESOURCE-SAT, sensor LISS 3 do dia 01/09/2012, foi gerado o MUCS da bacia de estudo. A Figura 17 indica o predomínio das áreas de pastagem com 9.658,57 ha, seguida pelos cultivos de cana de açúcar 3.267,12 ha, reflorestamento 1.967,23 ha e laranja 2.076,16. Cerrado e mata ciliar, áreas que protegem o manancial, estão em apenas 13% da bacia distribuídos em 3.245,46 ha (Tabela 13).

Tabela 13 - Situação de Uso e Cobertura em 2012

Classe temática	Área ocupada (ha)	%
1. Mata ciliar	1.278,23	5,73
2. Área Urbana	1.548,18	6,95
3. Cerrado	1.659,93	7,45
4. Eucalipto	1.967,23	8,83
5. Solo exp.	797,54	3,58
6. Pastagem	9.658,57	43,37
7. Cana	3.267,12	14,67
8. Laranja	2.076,16	9,33

Foram adotados os valores encontrados na literatura (LUZ, 2012) para as nove classes temáticas de uso do solo detectados no mapa (Tabela 14).

Tabela 14 - Fator C para as nove classes temáticas identificadas.

Uso do solo	Fator C	Fonte
1. Mata ciliar	0,0120	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
2. Área urbana	0,0010	
3. Cerrado	0,0420	
4. Reflorestamento	0,0010	Weill e Sparovek (2008)
5. Solo exposto	1,0000	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
6. Pastagem	0,0100	Oliveira <i>et al.</i> (2011)
7. Cana de açúcar	0,3066	Weill e Sparovek (2008)
8. Laranja	0,2000	Pimenta (1998)
9. Água	0,0000	Oliveira <i>et al.</i> (2011)

Fonte : LUZ, 2012

Analisando a Tabela 14 pode-se inferir que os tipos de usos do solo com maior propensão à erosão são os cultivos de cana de açúcar e laranja, principais produções do estado e notadamente na região de São Carlos (CBH-TJ, 2013; CONAB, 2015a, 2015b).

O valor 1 para o fator P indica que não foram observadas práticas conservacionistas significativas que pudessem contribuir com a redução da perda do solo por erosão.

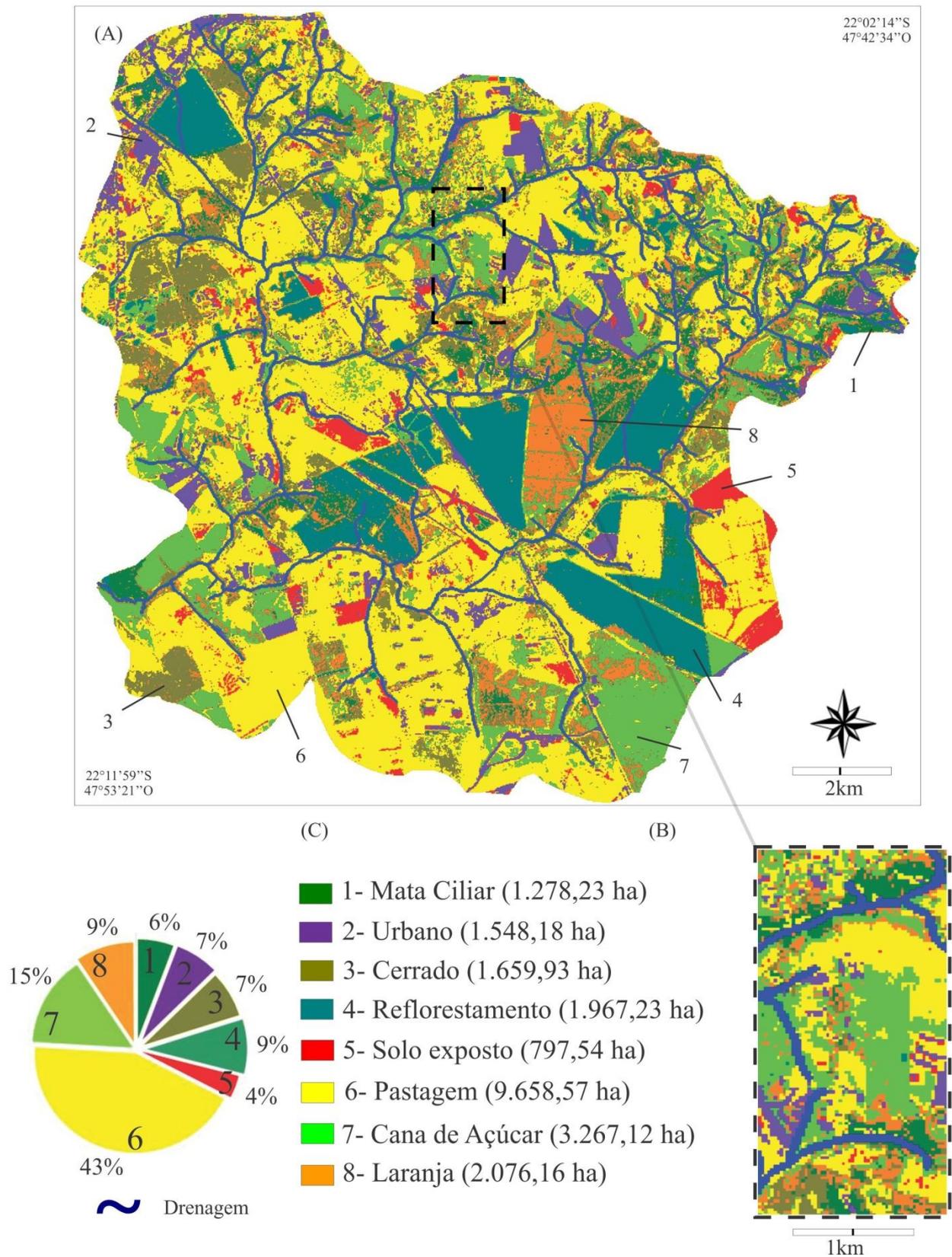


Figura 17 - MUCS da BHRF, 2012.

Comparando com as coberturas do solo de 2006, o eucalipto e a laranja sofreram reduções, provavelmente pela colheita prevista a cada 6 anos e pela intensificação da produtividade, respectivamente. Normalmente, o reflorestamento com eucalipto encontra-se inserido em ecossistemas sensíveis como relevo acidentado, solos com baixa fertilidade natural e antigas áreas agrícolas degradadas. O reflorestamento com este tipo de cobertura afeta principalmente os processos físicos, químicos e biológicos sendo necessário manejo adequado para não desgastar o solo devido à possibilidade das colheitas subsequentes da mesma plantação.



Figura 18 - Reflorestamento de eucalipto (esq) e pomares de laranjas (dir) da BHRF.
Fonte: NEPA, 2013.

Oliveira *et al.*(2013) e Silva *et al.* (2014) comentam que, sem um sistema eficaz de conservação do solo, nas fases anteriores do eucalipto (entre safras) a ausência de arborização pode expor o solo favorecendo à instalação de processos erosivos.

No caso específico da laranja, o mercado da citricultura tem pressionado produtores com pomares de dimensões pequenas que não conseguem acompanhar as exigências tecnológicas e, na maioria das vezes, são absorvidos pela cana de açúcar notadamente sugerido na Tabela 15. O aumento da produtividade do pomar exige práticas culturais adequadas e insumos necessários, o que se torna impedimento financeiro e tecnológico ao pequeno produtor rural. Embora a área plantada comparada com a safra anterior tenha sofrido diminuição devido a erradicação dos pomares improdutivos (SEADE, 2015), a produtividade intensificou 12,94% no estado de São Paulo (CONAB, 2015a), sendo -1.008,84 ha na BHRF.

Tabela 15 - Comparativo do MUCS 2006/2012

Temas	Área ocupada 2006 (ha)	%	Área ocupada 2012 (ha)	%
1. Mata ciliar	2.356,03	10,57	1.278,23	5,73
2. Área urbana	1.087,92	4,88	1.548,18	6,95
3. Cerrado	1.289,93	5,79	1.659,93	7,45
4. Eucalipto	2.279,50	10,24	1.967,23	8,83
5. Solo exp.	2.855,16	12,82	797,54	3,58
6. Pastagem	8.624,57	38,73	9.658,57	43,38
7. Cana	679,62	3,05	3.267,12	14,68
8. Laranja	3.083,64	13,85	2.076,16	9,33
9. Água	13,16	0,05	16,62	0,07
Total	22269,53	100	22269,58	100

O estado de São Paulo é o maior produtor de cana de açúcar, respondendo por 60% da produção brasileira (MAPA, 2015) e em 38,04% do aumento da área plantada na safra de 2012 (CONAB, 2015b) e colhida vistos na Figura 10, p. 47 (SEADE, 2015). A bacia seguiu a tendência com um aumento significativo de +2.586,12 ha nos últimos seis anos (Tabela 15).

Um dos maiores problemas da produção canavieira são as práticas de manejo convencionais utilizadas. Os solos são preparados com revolvimento de 20-30 cm, as mudas recebem tratamento preventivo contra fungicida e inseticida podendo ser plantadas mecanicamente. Na colheita mecânica, plantios em linhas duplas alternadas podem ser utilizadas para melhorar a eficiência da colhedora e prolongar a vida útil do canavial (CONAB, 2015b). A utilização de métodos de preparo do solo com alto grau de mobilização implica na redução da fertilidade do solo, aumento da compactação e redução da capacidade de infiltração, proporcionando condições favoráveis à instalação de processos erosivos.

As pastagens, apesar de possuírem valor baixo do coeficiente C (Tabela 14, p. 66), não protegem os solos contra lixiviação de nutrientes e poluição difusa. Quando degradados, apresentam alto grau de compactação, o que também contribui para o surgimento da erosão. A otimização da conservação do solo pode ser feita, segundo Zolin *et al.* (2010), adotando-se práticas conservacionistas na pastagem e alocando-se a área de floresta de maneira mais otimizada. Martin-Ortega *et al.* (2012) associaram a expansão do gado como uma das atividades degradantes e presentes em quase 10% dos casos latino americanos avaliados.

Análise dos dados de precipitação e descarga dos rios na bacia do Rio da Prata realizada por Bonachea *et al.* (2010) indicou que a resposta hidrológica de alguns rios não pode ser satisfatoriamente explicada apenas por variações de precipitação. Um dos principais contribuintes para o aumento do escoamento superficial é a impermeabilização causada pela urbanização e outras mudanças do uso do solo, importantes fatores (C e P) a serem

considerados. A cobertura vegetal tem a capacidade de oferecer ao solo proteção ao impacto direto das gotas da chuva, reduzir a velocidade do escoamento superficial e aumentar a resistência à tensão de cisalhamento associado ao escoamento. Portanto, a cobertura do solo atua como elemento dissipador de energia, favorecendo o controle do processo erosivo (ZONTA *et al.*, 2012).

4.3 Os serviços ambientais

No caso da BHRF, além das práticas de caráter edáfico e vegetativo (Quadro 5, p.45), existem regiões onde as práticas de caráter mecânico podem necessárias para para a produção dos SE. O mapeamento, o levantamento das informações necessárias à implementação do projeto e o monitoramento das áreas com maiores necessidades de recuperação e potenciais fontes dos SE consistem em ações dos programas PSA. Das inferências dos bancos de dados, foi possível realizar um diagnóstico ambiental determinando as áreas prioritárias à recuperação e proteção da erosão, simular a recomposição das áreas elegíveis e comparar com os resultados disponíveis na literatura, importantes produtos do SR e SIG.

Foi observado que, nos últimos seis anos, houve aumento de 2.276,44 ha na área agrícola e pastagem com simultâneo decréscimo na área ocupada pela vegetação nativa evidenciando o impacto negativo sobre qualidade solo e da água na bacia (Tabela 16). Este crescimento da produtividade é muitas vezes obtido com alto custo econômico e ambiental acompanhado da degradação dos SE.

Tabela 16 - Comparativo de uso e ocupação do solo em hectares.

Uso e ocupação do solo	2006	2012	Diferença
Agricultura (Laranja, cana e eucalipto)	6.045,64	7.310,51	+1.264,87
Pastagem de gado	8.647,00	9.658,57	+1.011,57
Vegetação nativa (Cerrado e mata ciliar)	3.645,96	2.938,16	-707,80
Solo exposto	2.855,16	797,54	-2.057,62

A significativa redução do solo exposto deve-se ao crescimento dos dosseis nas regiões anteriormente apontadas como expostas, coerente ao aumento dos cultivos (Tabela 15) e com os ciclos de colheita (a cada 6 anos para eucalipto e 5 anos para cana). Cabe ressaltar que a prática de interrupção temporária de atividades ou usos agrícolas, pecuários ou silviculturais por, no máximo, 5 anos para possibilitar a recuperação da capacidade de uso ou da estrutura física do solo é reconhecida pela Lei nº 12.727, de 2012.

Pagiola *et al.* (2007) e Zolin *et al.* (2010) comentam os inúmeros problemas decorrentes da ausência de um manejo conservacionista das pastagens. A pouca cobertura e a compactação do solo favorece à diminuição na retenção e fixação de nutrientes, rendimentos decrescentes e pressão para limpar áreas adicionais. Na BHRF (Figura 19), este é o principal uso do solo (43%) presente, inclusive no entorno dos córregos e nascentes.

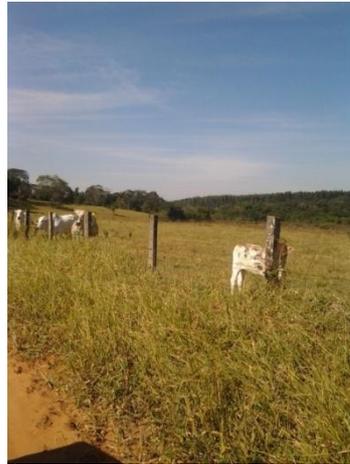


Figura 19 - Área de pastagem BHRF. Fonte: NEPA, 2013.

Nota-se grande intervenção na mata ciliar representada pelas alterações na região das APPs (Figura 20), sofrendo 11% de remoção desde o último mapeamento. Deve ser lembrado aqui que este trabalho utilizou imagens de satélite de média resolução espacial, ou seja, este valor pode ser uma subestimativa devido ao erro de precisão inerente do sensor utilizado.

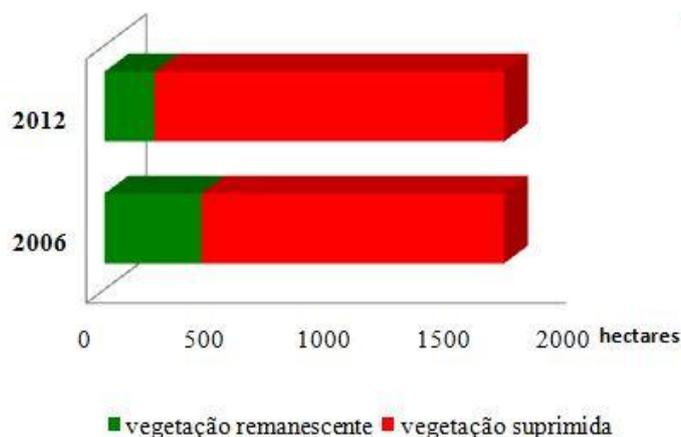


Figura 20 - Caracterização temporal da vegetação primária da BHRF.

A cobertura vegetal influencia o controle dos fluxos hídricos e a filtragem de sedimentos melhorando qualidade da água. Portanto, esta remoção da cobertura vegetal prejudica as funções, os padrões físico-químicos e, conseqüentemente os serviços ecossistêmicos (SE) prestados pela bacia (Quadro 6) nos níveis regional e, principalmente, local.

Quadro 6 - SE da bacia hidrográfica influenciáveis pelo uso do solo.

Serviços da bacia hidrográfica	Descrição
Quantidade ou rendimento total de água	Transmissão de água (rendimento total de água por unidade de chuva)
Regularidade ou fluxo	Armazenamento (acima da vazão média do rio por unidade de chuvas acima da média), liberação gradual da água armazenada apoiando a estação seca
Qualidade da água (para uso doméstico, potável, irrigação ou habitat de peixes e outros organismos)	Manutenção da qualidade da água, estabilidade de encostas, ausência de deslizamentos de terra, intensidade tolerável de perda de solo líquida de encostas pela erosão
Outros serviços ambientais	Efeitos microclimáticos na umidade do ar, temperatura e sequestro de carbono

Fonte : Porras *et al.*, 2008.

Destaca-se também o crescimento da área urbana que avançou fora dos limites propostos no plano regulatório municipal - à noroeste da bacia (Figura 21) - conforme previram Costa *et al.* (2013, 2015a), contribuindo com a pressão pelos usos do solo e degradação dos ecossistemas locais.



Figura 21 - Expansão da área urbana.

Adicionalmente às perdas de solo, são também perdidos nutrientes, material orgânico e os defensivos agrícolas aplicados. Hernani *et al.* (2002) estimaram as perdas de nutrientes e matéria orgânica em virtude da erosão do solo em: cálcio - 2,5 milhões de toneladas; magnésio - 186 mil toneladas; fósforo - 142 mil toneladas; potássio - 1,45 milhão de toneladas; e matéria orgânica - 26 milhões de toneladas. Estudos de Miserendino *et al.* (2011) analisaram a hipótese da intensificação do uso do solo estar vinculada aos efeitos negativos na qualidade da água, habitat e biodiversidade em 15 rios na Patagônia submetidos a práticas distintas. A conservação das matas ciliares e florestas nativas mostram as melhores condições de integridade ecológica e também maior biodiversidade de comunidade bentônica enquanto que a cobertura urbana produziu as mudanças mais significativas nos córregos incluindo características físicas, condutividade, nutrientes, condições de habitat, qualidade ciliar e métrica de invertebrados. Além disso, houve um significativo aumento nos valores da

temperatura da água e condutividade nas florestas desmatadas, o que sugere forte interferência das árvores na regulação climática.

A métrica dos macroinvertebrados tem sido também amplamente utilizada como um dos indicadores de qualidade da água, sendo positivamente relacionado à cobertura florestal e negativamente com as coberturas urbana e de pastagem (BONACHEA *et al.*, 2010; MISERENDINO *et al.*, 2011; SUGA e TANAKA, 2013).

4.4 Simulação da prática de preservação

Na BHRF, 55% do território encontra-se em condições muito baixas de erodir naturalmente, isto é, considerando somente a ação dos fatores físicos interferindo na perda de solo (erosividade, erodibilidade e topografia). É possível notar pelo comparativo temporal da Tabela 17 que, por tratar-se de fatores físicos intrínsecos da bacia, as proporções das classes descritivas de Silva (2008) para PNE se mantêm.

Cerca de 30% da bacia se enquadram em áreas com baixas e moderadas perdas de solo e 16% da bacia apresenta susceptibilidade natural para erodir extremamente severa, como pode ser visto na Tabela 17.

Importante destacar que as áreas com potencial natural à erosão encontram-se na região das Cuestas Basálticas, onde estão presentes as maiores cotas altimétricas na bacia. É uma região também caracterizada por densa cabeceira de rios, indicando a necessidade de cobertura vegetal para o amortecimento do escoamento superficial.

Tabela 17 - Comparativo temporal da Perda Natural por Erosão (PNE).

Classe descritiva PNE Fonte : Silva, 2008.	Área (ha) e (%)		Área (ha) e (%)	
	2006		2012	
<400 muito baixa	12.289,82	55,26	12.247,4	54,99
400 † 800 baixa	3.540,61	15,92	3.553,03	15,95
800 † 1600 moderada	2.904,55	13,06	2.920,71	13,11
>1600 extrem. severa	3.505,02	15,76	3.548,51	15,93

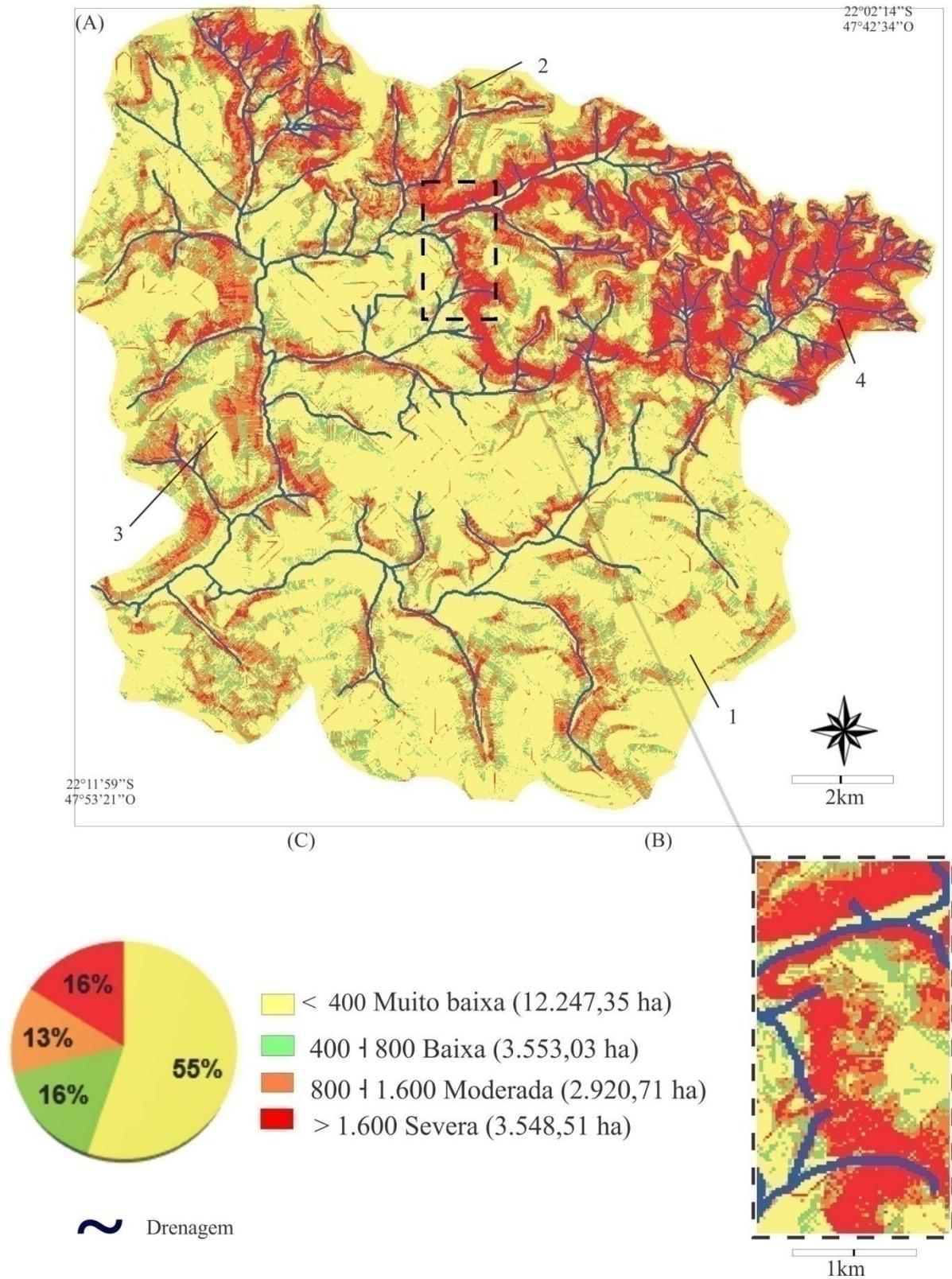


Figura 22 - Perda Natural por Erosão (PNE) 2012 da BHRF.

Por permanecer inalterado o fator P (ausência de práticas conservacionistas e protecionistas) e não haver diversificação das culturas, não é atípico que o cenário de Expectativa de Perda de Solo (EPS) por erosão mantivesse as mesmas proporções apresentadas em 2006 (CUNHA, 2011, Figura 11) e interpretação realizada por Cavalcante (2013) conforme comparativos apresentados na Tabela 18.

Tabela 18- Comparativo temporal da Expectativa de Perda de Solo (EPS).

Classe descritiva EPS Fonte : Irvem <i>et al.</i> , 2007.	Área (ha) e (%)		Área (ha) e (%)	
	2006		2012	
<5 muito baixa	10.045,81	45,17	10.403,00	46,71
5 † 12 baixa	2.584,29	11,62	2.853,98	12,81
12 † 50 moderada	3.765,23	16,93	3.701,85	16,62
50 † 100 severa	1.450,05	6,52	1.548,90	6,95
100 † 200 muito severa	1.481,18	6,66	1.323,14	5,94
>200 extrem. severa	2.913,44	13,10	2.438,69	10,95

Considerando o uso e ocupação do solo, a EPS (Figura 23) indica que quase a metade da bacia apresenta muito baixa suscetibilidade de erodir. Cerca de 30% da área apresenta baixa e moderada suscetibilidade e aproximadamente 24% é propensa à perdas severa do solo (> 100 t/ha/ano). Pode-se inferir que, nas localidades onde são previstas altas perdas, não há disciplinamento do uso do solo, provavelmente motivado pela ausência do incentivo protecionista e conservacionistas.

Stanton *et al.* (2010, p.43) cita algumas ações dos programas de conservação em vigência que fornecem assistência técnica de planejamento, arranjos e implementação de práticas de melhoramento. Construção ou avanços de técnicas de irrigações para agricultura, plantio de árvores para quebrar vento, rotação de culturas que reduza carregamento de sedimentos em corpos d'água, plantio de cobertura vegetal, por exemplo gramíneas perenes, legumes para fixação de nitrogênio e fósforo no solo, ressarcimento de custos de recuperação (ou porcentagem), redução de poluição de fontes pontuais, entre outros serviços ambientais listam as atividades de gestão e medidas relatadas no estudo destes autores. No presente estudo, foi simulado a proteção das APPs e a substituição das culturas presentes nas áreas frágeis (zonas vermelha, amarela e marrom escuro da Figura 23) por árvores típicas dos biomas do Cerrado e Mata Atlântica.

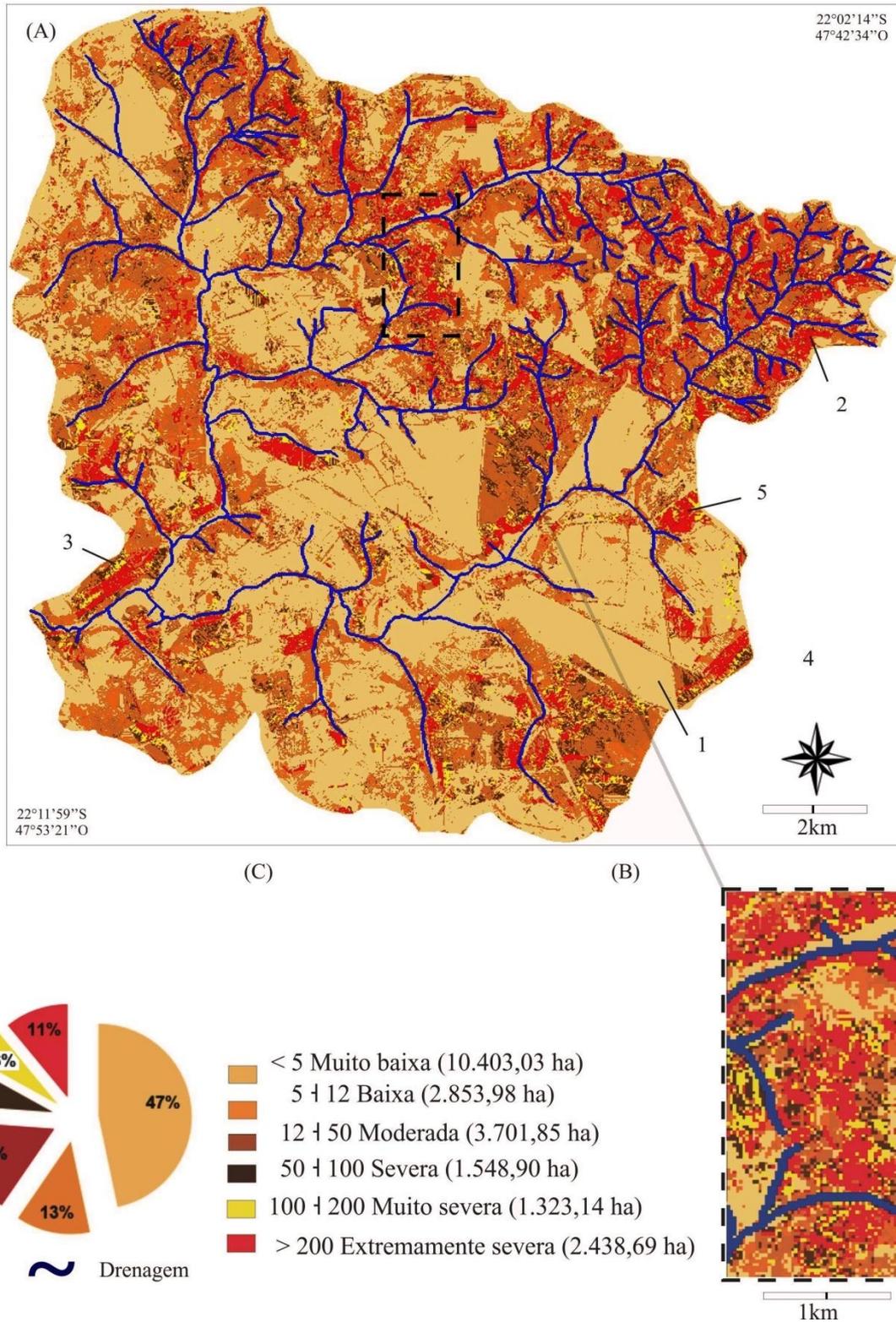


Figura 23 - Expectativa de Perda de Solo 2012.

A Figura 24 indica o produto dos fatores da modelagem por partes. Multiplicando-se os fatores de erosividade, erodibilidade e topográfico é obtido a PNE. Ao multiplicar a PNE com os fatores de manejo e práticas conservacionistas, temos a EPS.

É nítida a importância dos estudos de perda de solo para as diretrizes de gestão da bacia hidrográfica e o potencial das ferramentas computacionais para auxiliar as tomadas de decisões. Além de monitorar as alterações temporais, a predição da erosão hídrica em mananciais como o Ribeirão do Feijão fornece subsídios para seleção das áreas pontuais, planejamento dos serviços ambientais pontuais e a priorização das ações conservacionistas.

Pode-se afirmar, diante dos resultados obtidos, que a cobertura vegetal é determinante na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos e, neste sentido, os serviços ambientais prestados pelos produtores rurais têm grande importância no que diz respeito à manutenção da oferta dos serviços ecossistêmicos.

Também é evidente que a integração das informações permite maior planejamento, controle, monitoramento e combate ao desmatamento. Cabe ressaltar que os mapas de base também fundamentam os processos importantes de regularização ambiental das propriedades rurais, pedidos de licenciamento ambiental e programas de conservação dos SE.

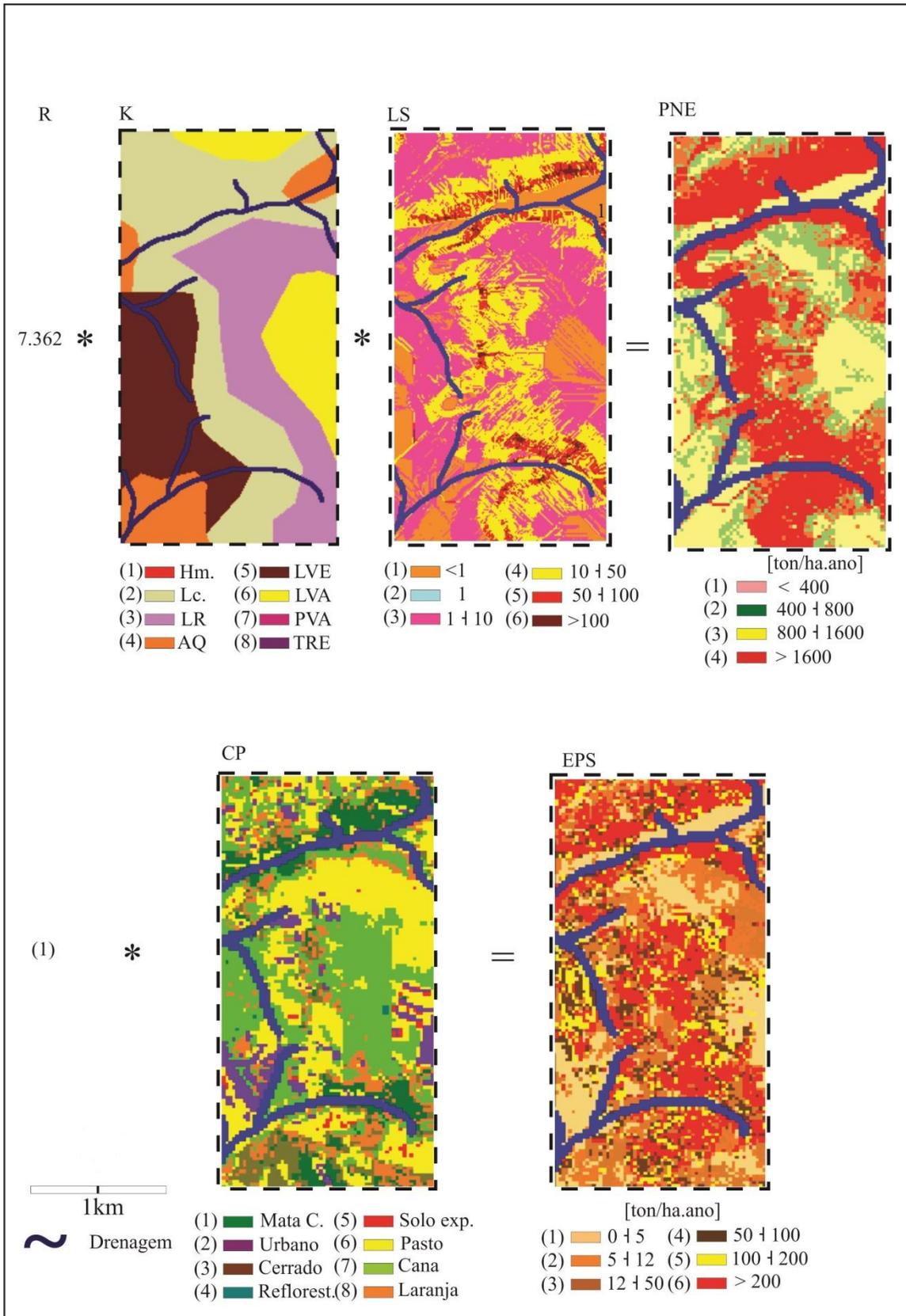


Figura 24 - Modelagem EUPS

4.4.1 Cenário 1 - Áreas de Preservação Permanente

Foram delimitadas as áreas definidas no item 3.3.2, p. 52 através da função DISTANCE do SIG, que calcula a menor distância da característica alvo apresentando uma imagem espacialmente contínua (EASTMAN, 2012, p. 71). A partir desta técnica, foi sobreposto o MUUS (Figura 17) para verificar as áreas com usos irregulares que deveriam estar preservadas (Tabela 19).

Tabela 19- Usos e ocupação do solo nas APPs.

Tipos de usos (ha)	30 m	Nascentes	Declives > 45°
Mata	172,95	4,97	37,67
Urbano	91,42	3,92	12,53
Cerrado	178,03	3,86	11,87
Reflorestamento	54,13	4,08	0,66
Solo exposto	29,82	2,26	0,49
Pastagem	553,60	23,69	37,28
Cana de açúcar	197,03	9,05	20,65
Laranja	229,90	7,51	20,60
Área	1.512,78	59,60	142,51
Total	1670,81 hectares		

O novo Código (BRASIL, 2012c) flexibilizou a utilização destas áreas ao determinar a faixa de preservação de acordo com o Módulo Fiscal (MF) da propriedade nas áreas rurais. Isto poderá acarretar a diminuição da oferta dos serviços hidrológicos, pois permite a continuidade das práticas agrícola e manejos convencionais nas áreas que deveriam ser totalmente protegidas. Por exemplo, em cursos d'água de até 10m de largura, o tamanho de reconstituição seria 30m pela Lei de 1965. Porém, com a definição de 2012, em imóveis com até 2 MF, a obrigatoriedade passa a ser somente 15 m. Observa-se que a legislação municipal APREM/SC (SÃO CARLOS, 2006) estabelece, no Artigo 10º, limites de APPs mais severos que os federais: 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 50m em cada margem e b) as nascentes, ainda que intermitentes e nos "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 70m. O Artigo 4º também prevê a promoção e recuperação da qualidade e quantidade das águas superficiais que compõe os mananciais de São Carlos. Portanto, as APPs da BHRF se enquadram nas áreas propícias à recomposição da vegetação ciliar, ripária ou de galeria. Principalmente, devido às APPs constituírem importantes conexões entre os sistemas aquáticos e terrestres ocorrendo em diferentes escalas espaciais (TRAN *et al.*, 2010).

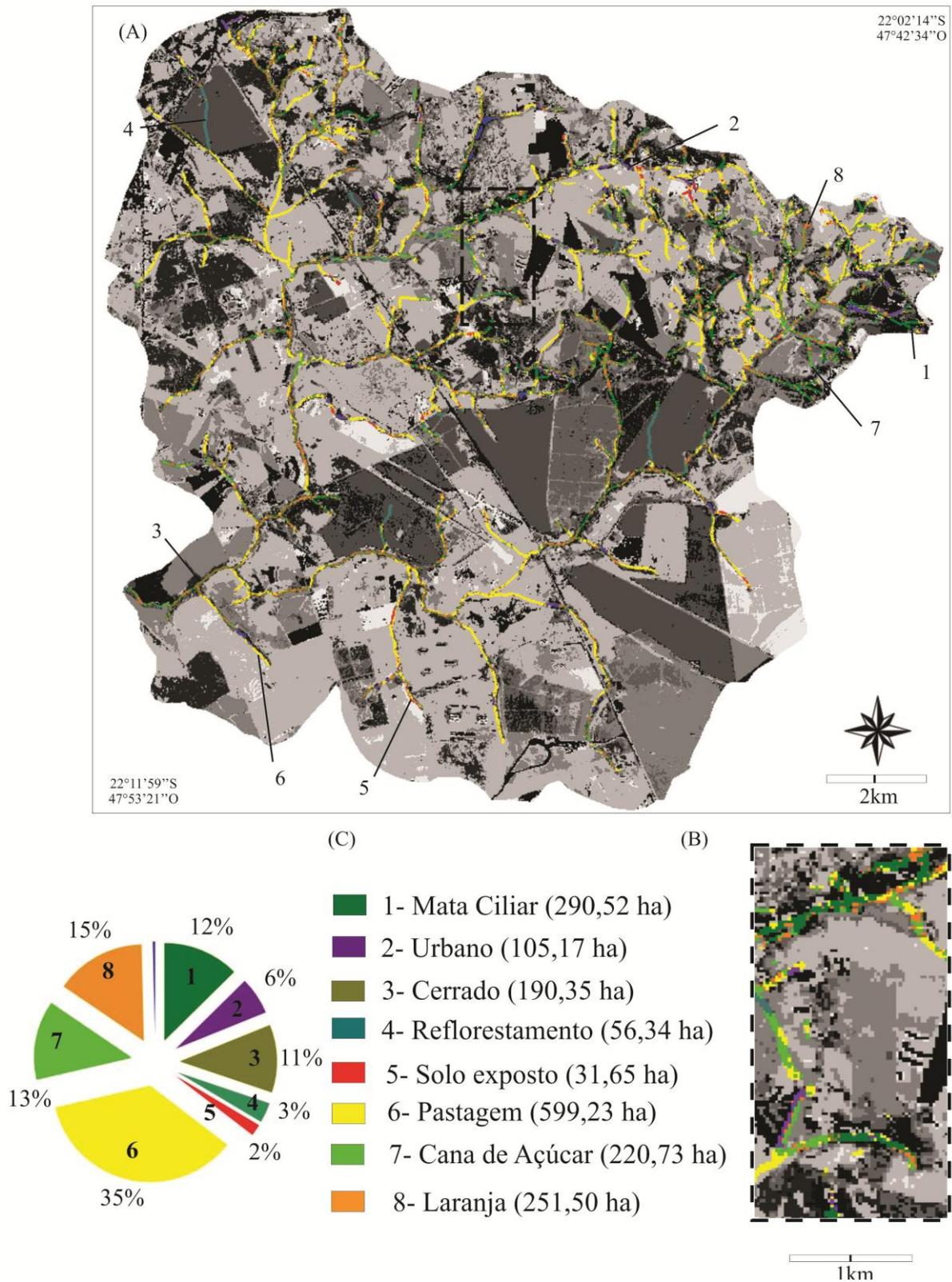


Figura 25 - Uso e ocupação nas APPs da BHRF

Foi simulado a recomposição da vegetação ripária das APPs com a substituição de seu atual uso e cobertura indicados na Tabela 19 pela classe temática 1- Mata Ciliar. Uma vez recomposta estas áreas, o fator C da modelagem EUPS passou ser menor (Tabela 14, p.66) e uma nova EPS foi estimada para verificar a influência da recomposição das APPs na erosão do solo. O comparativo entre a EPS da linha de base e a EPS do Cenário 1 reconstituído é indicado na Tabela 20.

Tabela 20 - Expectativa de Perda de Solo para o Cenário 1 reconstituído.

Classes interpretativas de EPS [t/ha/ano] (Irvem <i>et al.</i> , 2007)	EPS da linha base (MUCS 2012)		EPS do Cenário 1 (veg. ripária)	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]
1. Muito baixa (< 5)	10.403,03	46,71	10.523,83	47,25
2. Baixa (5+12)	2.853,98	12,81	2.910,00	13,06
3. Moderada (12+50)	3.701,85	16,62	3.772,28	16,93
4. Severa (50+100)	1.548,90	6,95	1.524,43	6,84
5. Muito severa (100+200)	1.323,14	5,94	1.295,63	5,81
6. Extrem. severa (>200)	2.438,69	10,95	2.243,42	10,07

Nota-se a importância da preservação das APPs através do Cenário 1 reconstituído com vegetação nativa. Houve uma redução de 222,78 ha nas áreas com severa expectativa de perda de solo (> 100 t/ha/ano). Concomitante à queda das altas classes interpretativas de EPS, houve um aumento de 222,78 ha nas classes com baixa EPS (< 100 t/ha/ano) em concordância com estudos de Paes (2010) e Cavalcante (2012). Quando tais áreas encontram-se devidamente preservadas, cumprem com a função legal de manutenção dos ecossistemas ao atenuar a erosão.

Ainda que a adequação à legislação seja uma obrigatoriedade à todos os proprietários para o cadastro rural¹⁰ (CAR), os PSA brasileiros custeiam o cercamento de nascentes e olhos d'água, o plantio direto de mudas nativas entre outras práticas protecionistas nas APPs (ANA, 2012) que geram benefícios fora da propriedade dos pequenos produtores rurais destituídos desta obrigação.

Resultados da modelagem da reconstituição de APP de mananciais urbanos e adoção de práticas conservacionistas corroboram com a perspectiva da importância das matas ciliares no fornecimento dos serviços ambientais. Com auxílio da ferramenta *InVest*, que calcula a perda anual média de cada parcela de terra, o aporte de sedimentos e avaliação de custos de

¹⁰ Cadastro Ambiental Rural – CAR é um registro eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais, que tem por finalidade integrar as informações ambientais referentes à situação das Áreas de Preservação Permanente - APP, das áreas de Reserva Legal - RL, das florestas e dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Uso Restrito e das áreas consolidadas das propriedades e posses rurais do país (SICAR, 2015).

remoção dos sedimentos (http://www.naturalcapitalproject.org/policy_tools.html) também fundamentado na EUPS, as seguintes previsões foram calculadas para a BHRF (SOUSA JÚNIOR, comunicação pessoal¹¹) conforme mostra a Tabela 21:

Tabela 21 - Resultados da simulação de recomposição da APP (30m) do manancial Ribeirão do Feijão.

Redução PRE (t/ano)	Redução no aporte dos sedimentos(mg/L)	Redução no custo de mitigação do assoreamento (R\$/ano)	Redução do custo de tratamento da água (R\$/m³)	Estimativa de arrecadação (R\$/ano)
22.877	73,05	60.852,86	9.466,03	70.318,89

Fonte : SOUSA JÚNIOR⁷, não publicado.

Nota-se que os sedimentos evitados através da recomposição de 30m da rede de drenagem influencia diretamente na redução econômica, sendo significativo o valor anual arrecadado.

Ainda que o art. 10º da lei que dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município (SÃO CARLOS, 2006) estipule a largura mínima de 50m em cada margem, nota-se que a preservação ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal de 30m (BRASIL,2012c) já evitaria custos significativos no tratamento da água.

4.4.2 Cenário 2 - Áreas de fragilidade

As principais coberturas do solo identificadas no mapeamento das áreas de alta fragilidade (Tabela 22) reforçam os apontamentos anteriormente realizados em 2006 sobre as culturas de cana de açúcar e laranja. Além de não protegerem o solo (Tabela 14, p. 65), estas culturas são as mais presentes nas áreas de alta fragilidade (Tabela 22).

Tabela 22 - Uso e ocupação nas áreas de fragilidade.

Tipos de usos	EPS > 100 t/ha/ano
Mata	303,23
Urbano	105,34
Cerrado	334,69
Reflorestamento	56,34
Solo exposto	654,47
Pastagem	704,29
Cana de açúcar	1.776,43
Laranja	1.035,01
Total	4.976,09

¹¹ Minicurso apresentado por Wilson Cabral de Souza Júnior em 07/11/2013 na Universidade Federal de Itajubá.

A simulação da recuperação de áreas com severa, muito severa e extremamente severa EPS, respectivamente as classes 4,5 e 6 (>100 t/ha/ano) de Irvem *et al.* (2007) considerou dois tipos de cobertura vegetativas. Com as funções RECLASS e OVERLAY foram isoladas as áreas a serem reconstituídas e convertidas em vegetação nativa representado pelo Tema 3- Cerrado e, posteriormente, pelo Tema 1- Mata ciliar, a título de comparação.

É importante salientar que as áreas do cerrado foram superestimadas (ver Tabela 15 comparativo do MUCS2006/2012), o que sugere um quadro de maior risco de degradação devido à maior cobertura agrícola e de pastagem. A imprecisão e não conformidade com a verdade terrestre devido à resolução mediana da imagem do sensor pode ser um fator limitante de utilização do sensor LISIII para apontamentos das práticas de manejo e recuperação a serem adotadas. Portanto, para o estágio de execução de projetos PSA é altamente recomendável a utilização de imagens de satélite com escalas mais precisas.

Após a simulação de recomposição vegetativa nas áreas frágeis (APP+áreas propensas à perdas erosivas >100 t/ha/ano), duas simulações de monitoramento foram realizadas para verificar a diferença de sedimentos perdidos anualmente com as coberturas de mata ciliar e cerrado, cujos coeficientes C diferem-se em 0,03 (Tabela 14, p.66). A reconstituição das áreas de fragilidades com a vegetação de mata ciliar sugerem o melhor aproveitamento dos serviços de provisão do solo e da água através da redução dos sedimentos por erosão hídrica. Além disso, a reposição da vegetação nativa de Cerrado e Mata Atlântica na BHRF poderia prestar serviços ambientais adicionais. Estudos de Ditt *et al.* (2010) sugerem que um hectare (1 ha) de floresta pode estocar até 113 toneladas de carbono na biomassa da floresta durante o período de $\Delta t_{\text{médio}} = 30$ anos. As florestas ripárias estão fortemente relacionadas com os ecossistemas dos córregos e a criação e/ou conservação destas áreas podem atenuar o impacto da agricultura próximo aos córregos (GOSS *et al.*, 2014). Tanaka *et al.* (2015) verificaram as taxas de decomposição das folhas ao longo de um riacho à medida que este percorria uma zona de transição de cana para remanescente florestal. Os resultados sugerem que os remanescentes são importantes nas paisagens rurais não apenas por melhorarem a qualidade dos córregos, mas também para restaurar funções ecossistêmicas sugeridas no aumento nas taxas de decomposição foliar, concentração de oxigênio altamente dissolvido e baixas taxas de sedimentação. Estas características podem estar localmente influenciada pela estrutura da floresta (MISERANDINO *et al.*, 2011), principalmente em relação à densidade de árvores, diâmetro médio tronco e distribuição espacial.

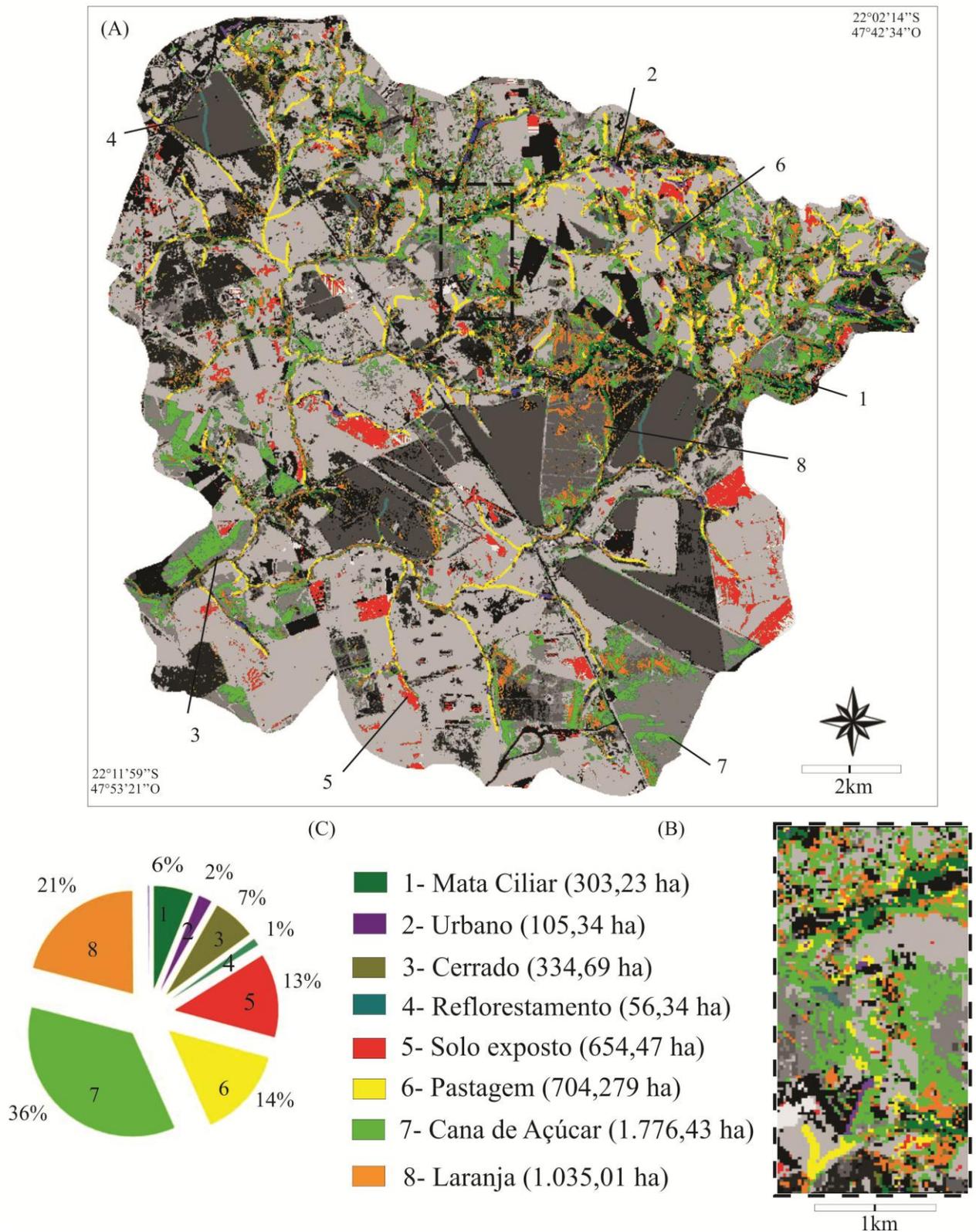


Figura 26 - Uso e ocupação nas áreas de alta fragilidade da BHRF.

Se fosse possível cobrir as áreas frágeis com matas ciliares (Tabela 23), a redução de sedimentos seria de 2.333,72 t/ha/ano.

Tabela 23 - EPS do Cenário 2 reconstituído com Mata ciliar.

Classes interpretativas de EPS [t/ha/ano] (Irvem <i>et al.</i> , 2007)	EPS da linha de base (MUCS 2012)		EPS do Cenário 2 (Mata ciliar)	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]
1. Muito baixa (< 5)	10.403,03	47	11.029,11	50
2. Baixa (5+12)	2.853,98	13	3.999,37	17
3. Moderada (12+50)	3.701,85	17	4.907,39	22
4. Severa (50+100)	1.548,90	7	1.740,58	8
5. Muito severa (100+200)	1.323,14	6	356,56	2
6. Extrem. severa (>200)	2.438,69	11	236,58	1

A reconstituição das áreas de fragilidades com a vegetação de cerrado proporcionou uma redução de 3.589,21 t/ha/ano de perda de solo nas áreas consideradas de alta fragilidade, classes 4, 5 e 6 (Tabela 24).

Tabela 24 - EPS do Cenário 2 reconstituído com Cerrado.

Classes interpretativas de EPS [t/ha/ano] (Irvem <i>et al.</i> , 2007)	EPS da linha de base (MUCS 2012)		EPS do Cenário 2 (Cerrado)	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]
1. Muito baixa (< 5)	10.403,03	47	10.215,60	46
2. Baixa (5+12)	2.853,98	13	3.100,63	14
3. Moderada (12+50)	3.701,85	17	5.364,16	24
4. Severa (50+100)	1.548,90	7	2.211,50	10
5. Muito severa (100+200)	1.323,14	6	538,52	2
6. Extrem. severa (>200)	2.438,69	11	839,19	4

Miserandino *et al.* (2011) e Tanaka *et al.* (2015) comentam a importância dos macroinvertebrados como bons indicadores das condições de impacto do uso do solo e qualidade da água resultando em ferramenta útil para alertar quaisquer distúrbios dos córregos. A presença da floresta ripária nas APPs e florestas nativas nas áreas frágeis (cenários 1 e 2) protegeriam e melhorariam a qualidade química da água dos córregos (DOSSEKEY *et al.*, 2010). Torna-se essencial desenvolver projetos que sejam capazes de integrar as necessidades humanas com a persistência da biodiversidade e provimento dos SE.

Concordando com Dossekey *et al.*(2010), Miserandino *et al.* (2011), Goss *et al.*(2014) e Tanaka *et al.* (2015), todos cenários de recomposição da vegetação refletiram a importância dos remanescentes florestais em paisagens rurais (Tabela 25) não só por melhorar a qualidade do fluxo de água, mas também por restaurar as funções do ecossistema.

Tabela 25 - Áreas recompostas e sedimentos evitados.

Classe interpretativa Irvem <i>et al.</i> , 2007 (t/ha/ano)	Linha de base EPS (t/ha/ano) Antes das simulações	EPS Cenário 1 APPs recompostas (t/ha/ano)	EPS Cenário 2a Áreas frágeis recompostas (t/ha/ano)	EPS Cenário 2b Áreas frágeis recompostas (t/ha/ano)
\sum EPS 4, 5 e 6 (>100 t/ha/ano)	5.310,73	5.063,48	3.589,21	2.333,72
% de abatimento da erosão		4,65%	32,41%	56,05%
Área total bacia = 22.269,58 ha	4.976,17 ha áreas elegíveis à recomposição	APP= 1.652,21 ha áreas previstas por lei; 7,41% da bacia	Frágeis= 4.976,17 ha (APP+EPS>100), 22,34% da bacia	

Estima-se que o atual uso do solo da BHRF (MUCS2012) favorece a entrega de 5.310,73 t/ha/ano (Linha de base), dos quais 247,25 t/ha/ano seriam evitados se as nascentes, margens dos córregos e declividades superiores à 45° estivessem protegidos conforme a legislação prevê. Somados à esta expectativa, o segundo cenário previu 1.721,52 t/ha/ano a menos se, além das APPs, as áreas com severa, muito severa e extremamente severa propensão à perdas de solo fossem recompostas, representando 32,41% de abatimento da linha de base. À título comparativo, a reconstituição destas mesmas áreas com mata ciliar proporcionaria uma redução de 2.977,01 t/ha/ano em relação à linha de base, impactando 56% na redução da erosão.

4.5 Viabilidade econômica

Com base nas receitas e custos da produção agropecuária levantados por Machado (2011), os valores foram atualizados pela taxa acumulada de inflação (Tabela 10, p. 58). A estimativa do Valor Anual Equivalente (VAE) considerou a produtividade das culturas no ano de 2012 identificadas nas imagens de satélite e seus valores corrigidos para o ano de 2014.

Como todos os dados de receitas e custos do ciclo produtivo de 18 anos do eucalipto apresentados são de 2007 puderam ser somados (MACHADO, 2011) e atualizados pela taxa acumulada de inflação dos últimos 7 anos (2007 a 2014). O resultado estimado da

lucratividade deste plantio foi de R\$2.183.966,63 considerando a área de 1.967,23 ha, com três períodos de corte para a região de Minas Gerais (ano 6, 12 e 18), com densidade de 1.600 pés/ha e espaçamento 3x2m (AGRIANUAL, 2008 *apud* GALO, 2008). indicados na Tabela 26.

Tabela 26 - Fluxo de caixa da produção de eucalipto.

EUCALIPTO			
Valores (ha/ano) previstos desconsiderando a atualização monetária do prazo de execução - 2007			
Ano/ Ciclo	Custo	Receita	Resultado
0	2.893,00	0	-2.893,00
1	359,00	0	-359,00
2	359,00	0	-359,00
3	359,00	0	-359,00
4	359,00	0	-359,00
5	359,00	0	-359,00
6	4.996,00	10.500	5.504,00
7	320,00	0	-320,00
8	320,00	0	-320,00
9	320,00	0	-320,00
10	320,00	0	-320,00
11	320,00	0	-320,00
12	4.612,00	9.450	4.838,00
13	281,00	0	-281,00
14	281,00	0	-281,00
15	281,00	0	-281,00
16	281,00	0	-281,00
17	281,00	0	-281,00
18	3.357,00	8.750	5.393,00
Total R\$	R\$ 20.658,00	R\$ 28.700,0	R\$ 8.042,00
Valor atualizado pela taxa acumulada de inflação dos últimos 7 anos (2007-2014)			R\$ 12.485,09
Fator de correção com a taxa de financiamento do setor agropecuário			11,25
Valor anual em 1 ha			R\$ 1.110,17
Valor anual em 1.967,23 ha			R\$ 2.183.966,63

O ciclo produtivo do eucalipto considerado pelo Agrianual (2008, *apud* Galo, 2008) é de 18 anos, com 3 cortes nos anos 6, 12 e 18.

Considerando a recomposição de vegetação nativa dos Cenários 1 e 2, os produtores rurais deixariam de produzir eucalipto em 56,34 ha conforme indica a Tabela 27, com um custo de oportunidade de mais de R\$62 mil reais anuais.

Tabela 27 - Recálculo da receita e custo do eucalipto

Receita e custo	Área ocupada (ha)	R\$/ha
2006	1.831,48	2.081.203,00
2012	1.967,23	2.378.531,60
Cenário 1	56,34	62.547,18
Cenário 2	56,34	62.547,18

Pela inferência do cenário 2 (Tabela 27), percebe-se que o eucalipto não influencia na erosão hídrica, pois não aparece no levantamento de áreas frágeis. Nota-se também, pelo fator de cobertura (Tabela 14, p. 66), que esta cultura atenua a perda do solo, sendo amplamente utilizado no reflorestamento. Porém, quando cultivado como uma colheita de curta rotação para alta produção de biomassa, os nutrientes do solo são esgotados rapidamente e, conseqüentemente, aumenta a perda de biodiversidade

Para a cobertura de pastagem, considerou-se que a área seja utilizada para cria, recria e engorda de gado de corte. A capacidade do suporte das pastagens é de 0,8 Unidade Animal (UA) por ha por ano, com produção de 5,8 ARROBAS (@) por UA por ano em 33 meses, que é a idade de abate (ANUALPEC, 2010). O lucro líquido estimado para 2014 é 283,43 reais/ha/ano em uma área de 9.658,57 ha, a lucratividade obtida é de R\$2.737.562,95 (Tabela 28).

Tabela 28 - Fluxo de caixa da produção de gado de corte.

PASTAGEM			
Item	Descrição	Valor	Unidade
1	Área de pastagem da bacia	9.658,57	Ha
2	Idade de abate	33	Meses
3	Capacidade de suporte das pastagens	0,8	UA/ha/ano
4	Produção	5,8	@/UA/ano
5	Custo anual	39,90	R\$/@
6	Lucro líquido	202,00	R\$/ha/ano
7	Valor previsto desconsiderando a atualização monetária do prazo de execução - 2009	202,00	R\$/ha/ano
8	Valor previsto atualizado para 2014 pelo IPCA/IBGE	283,43	R\$/ha/ano
9	Valor previsto para 2014 pelo IPCA/IBGE em 9.658,57 ha	2.737.676,32	R\$/ha/ano

Fonte: Os itens 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são dados do Anualpec (2010);

@: Medida de peso de produtos agropecuários equivalente a 15 kg (MDA, 2008).

Unidade Animal (UA) é a representação do rebanho de diferentes espécies e/ou idades em uma idade homogênea. Uma unidade animal corresponde a 450 kg de peso vivo (MDA, 2008).

Apesar da criação extensiva apresentar o menor rendimento por hectare é a cobertura mais presente na bacia (43%), sendo quase 600 ha nas APPs. Considerando a recomposição

dos Cenários 1 e 2, o custo mínimo para os produtores rurais deixem de produzir nestas áreas chega a quase 200 mil reais anuais (Tabela 29).

Tabela 29 - Recálculo da receita e custo da pastagem.

Receita e custo	Área ocupada (ha)	R\$/ha
2006	8.647,00	1.929.655,32
2012	9.658,97	2.737.676,32
Cenário 1	599,23	169.873,91
Cenário 2	704,29	199.657,05

Para estimativa de lucratividade da cana de açúcar foram utilizados receitas e custos de produção descritos pela Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Goiás - FAEG (2011). Para um ciclo de 5 anos, o 1º corte é denominado planta e do 2º ao 5º cana soca. Sendo os custos estimados para 1 ha de R\$1,528,14 e extrapolado para os 3.267,12 ha presentes na bacia, estima-se o lucro de R\$ 4.992.622,48 ha/ano (Tabela 30).

Tabela 30 - Fluxo de caixa da produção de cana de açúcar

CANA DE AÇÚCAR						
Valores previstos (ha/ano) desconsiderando a atualização monetária do prazo de execução - 2011						
Ano/Ciclo	1	2	3	4	5	Total (R\$)
Receita	7.027,20	4.392,00	4.392,00	4.392,00	4.392,00	R\$ 24.595,20
Custo	7.659,60	2.602,50	2.602,50	2.602,50	2.602,50	R\$ 18.069,60
Resultado	-632,40	1.789,50	1.789,50	1.789,50	1.789,50	R\$ 6.525,60
Fator de correção com a taxa de financiamento do setor agropecuário						4,27
Valor anual em 1 ha						R\$ 1.528,14
Valor anual em 3.267,12 ha						R\$ 4.992.622,48

A cana de açúcar apresenta um alto custo de oportunidade por ha, por estar entre as principais economias da bacia, e juntamente com a laranja, são as principais culturas que favorecem a instalação da erosão hídrica. As perdas aos produtores que cultivam nestas áreas de fragilidade com a conversão das lavouras de cana em reflorestamento seriam da ordem de dois milhões de reais por ano em 1.776,43 ha (Tabela 31).

Tabela 31 - Recálculo da receita e custo da cana de açúcar.

Receita e custo	Área ocupada (ha)	R\$/ha
2006	681,00	1.076,58
2012	3.267,12	5.164.971,36
Cenário A	220,73	337.306,73
Cenário B	1.776,43	2.714.636,85

Para o pequeno produtor rural é mais viável arrendar a propriedade para produção da cana ao invés produzi-la. Nos últimos anos, o arrendamento tem se mostrado mais viável, principalmente em função dos altos custos de produção, com destaque para os insumos

agrícolas (fertilizantes e defensivos) e mão de obra (ver comparativo de preços na Tabela 34, p.95). O cálculo da rentabilidade do arrendamento em 2013 realizado pela Agroanalysis (2015) considerou o valor médio de R\$ 60,34/t e um volume de 21,05 t/ ha (cerca de 50 toneladas por alqueire paulista – 24.200 m²), totalizando uma receita de R\$ 1.270,15 por hectare para o arrendamento.

As receitas e custos da produção de laranja para indústria na região sul do estado de São Paulo serviram de base para estimativa do lucro líquido da laranja (Tabela 32). Foi considerado um pomar em produção com cada hectare possuindo 300 pés, com idade entre 7 e 19 anos produzindo 600 caixas de 40,8 kg a um custo de R\$6,01 (GHILARDI *et al.*, 2004).

Segundo Ghilardi *et al.* (2004), o pomar de laranja tem uma fase produtiva de 4 anos (período de formação) e uma vida útil produtiva de 15 anos, perfazendo um ciclo de vida de 19 anos. Para cada hectare o lucro líquido é de R\$ 3.381,90 resultando em R\$ 7.021.370,72 extrapolados para 2.076,16 ha cultivados na bacia.

A laranja, assim como a cana de açúcar, participa significativamente da economia local, lembrando que sua alta e lucrativa produtividade deve-se ao consumo de fertilizantes, herbicidas e outros insumos químicos. Converter o pomar de laranjas nas áreas de ocorrência do Cenário 2 representaria um custo de oportunidade de aproximadamente 3,5 milhões anuais (Tabela 33).

Tabela 32 - Fluxo de caixa da laranja

LARANJA																
Ano/ Ciclo	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total (R\$)
Receita	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	4.908	73.620,00
Custo	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	3.609	54.132,30
Resultado	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	19.487,70
Valor atualizado pela taxa acumulada de inflação dos últimos 10 anos (2004-2014)																35.618,96
Fator de correção com a taxa de financiamento do setor agropecuário																10,53
Valor anual em 1 ha																3.381,90
Valor anual em 2.076,16 ha																7.021.370,72

Tabela 33 - Recálculo da receita e custo da laranja.

Receita e custo	Área ocupada (ha)	R\$
2006	3.085,00	8.214.464,42
2012	2.076,16	7.021.370,72
Cenário A	251,50	850.548,48
Cenário B	1.035,01	3.500.302,92

O panorama geral dos custos de oportunidade de cada cultura definidos nos Cenários 1 e 2 são apresentados na Tabela 35: O valor líquido estimado para 2014, de acordo com a área ocupada (ha) na bacia pelas monoculturas relevantes, é de R\$16.936.146,94 por ano enquanto que a DAP pela proteção/conservação do manancial foi de R\$9.672.032,00. Estes valores corrigidos, segundo a taxa de inflação acumulada (IPCA, 2015), representaram 57% do lucro dos produtores rurais conforme mostra a síntese na Tabela 35.

A adequação às leis (SNUC, 2002, SÃO CARLOS, 2006, BRASIL, 2012b) no Cenário 1- recomposição das APPs, e o comprometimento de conservação das áreas especificamente apontadas de fragilidade ambiental no Cenário 2 são as metas prioritárias. É observado que as culturas mais favoráveis à erodir o solo localizam-se nas áreas mais frágeis e possuem os maiores custos de oportunidade, daí a importância do estudo de mecanismos complementares que incentive as práticas conservacionistas.

Seguindo os critérios estabelecidos pelo Projeto Conservador das Águas, as glebas de terras dos municípios de São Carlos, Itirapina e Corumbataí (ofertantes de SA) que possuem propriedades dentro do perímetro das BHRF poderiam converter parte do uso atual do solo em floresta. A DAP (MACHADO *et. al.*, 2016) poderia ser uma parte dos recursos de financiamento das áreas prioritárias. Outra parte poderia ser proveniente do repasse do ICMS Ecológico que, segundo o SMA/CPLA, em 2012 compreendeu entre 20.000 - 500.000,00 no município de São Carlos (SMA, 2013).

Tabela 34 - Comparativo econômico temporal.

Culturas	MACHADO, 2016 no prelo			NEVES		
	Área ocupada 2006 (ha)	Valor anual em 1 ha (R\$/ha)	Valor total (R\$/ha)	Área ocupada 2012 (ha)	Valor anual em 1 ha (R\$/ha)	Valor total corrigido (R\$/ha)
Eucalipto	2.281,00	951,56	2.171.411,19	1.967,23	1.110,17	2.183.966,63
Cana	681,00	1.580,89	1.076.589,01	3.267,12	1.528,14	4.992.622,48
Laranja	3.083,64	2.662,71	8.214.464,42	2.076,16	3.381,90	7.021.365,50
Pastagem	8.647,00	223,16	1.929.655,32	9.658,97	283,48	2.737.676,32
Total	DAP 8,18 milhões		13.392.119,94	DAP 9,67 milhões		16.935.1630,93

Tabela 35 - Valores corrigidos (R\$) do fluxo de caixa e área ocupada (ha) das culturas segundo a taxa de inflação acumulada IPCA (IBGE, 2015).

Análises	Eucalipto		Cana		Laranja		Gado	
	2006	2012	2006	2012	2006	2012	2006	2012
Área ocupada (ha)	2.281,00	1.967,23	681	3.267,12	3.085,00	2.076,16	8.647,00	9.658,97
Valor em 1 ha (R\$/ha/ano)	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	951,56	1.110,17	1.580,89	1.528,14	2.662,71	3.381,90	223,16	283,48
Cenários	1	2	1	2	1	2	1	2
Área ocupada (ha)	56,34		220,73	1.776,43	251,50	1.035,01	599,23	169.873,91
Custo de oportunidade (R\$/ha)	62.547,18		337.306,73	2.714636,85	850.547,85	3.500.300,32	704,29	199.657,05
Fator de correção	1,55 (2007 - 2014) ^a		1,27 (2011 - 2014) ^b		1,82 (2004 - 2014) ^c		1,40 (2009 - 2014) ^d	
VAE (R\$/ha/ano)	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	2.171.411,19	2.281,00	1.076.58,01	4.992.622,48	8.214.464,42	7.021.370,72	1.929.655,32	2.737.676,32

^a Dados relativos ao ciclo de 18 anos, sendo três períodos de corte para a região de Minas Gerais (ano 6, 12 e 18), com densidade de 1.600 pés/ha e espaçamento 3x2m (AGRIANUAL, 2008; GALO, 2008);

^b Considerando um ciclo de 5 anos, sendo o 1º corte denominado planta e do 2º ao 5º cana soca (FAEG, 2011).

^c Fase produtiva de 4 anos (período de formação) e uma vida útil produtiva de 15 anos, perfazendo um ciclo de vida de 19 anos. (GHILARDI *et al.*, 2004)

^d Capacidade do suporte das pastagens é de 0,8 Unidade Animal (UA) por ha por ano, com produção de 5,8 ARROBAS (@) por UA por ano em 33 meses, que é a idade de abate (ANUALPEC, 2010).

Os custos de recuperação de áreas degradadas com vegetação nativa, no caso da área de estudo os biomas de Cerrado e Mata Atlântica, estão em torno de \$8 a 12 mil/ha (GUSIKUDA, 2013). Nascimento (2007) estimou os custos da recomposição florestal com espécies nativas na área da Usina Termoelétrica (UTE) Barbosa Lima Sobrinho, localizada no Rio de Janeiro, conforme os espaçamentos (Tabela 36).

Tabela 36 - Custos de recomposição florestal com espécies nativas

Espaçamento (m)	Trator ¹	Mudas ²	Adubo ^{3,6}	Covas ^{4,6}	Plantio ^{5,6}	Total
2,0 x 2,0	137,32	1.682,63	107,98	105,63	79,23	2.112,79
3,0 x 2,0	137,32	1.121,75	71,99	70,42	52,82	1.454,31

Fonte: Adaptado de Nascimento (2007).

¹Rendimento de aração e gradagem de 6,5 ha/h e custo de U\$ 21,12 a hora (h);

²Preço de U\$ 0,60 a muda, entregue no local;

³Aplicação de 100 g de N-P-K (06-60-06)/cova, custo de U\$21,59 o saco de 50 kg e rendimento de adubação de 500 covas homem dia;

⁴Rendimento de abertura de 300 covas/homem dia;

⁵Rendimento de plantio de 400 covas/homem dia;

⁶Custo do homem dia = U\$ 12,67.

Se for adotado o mesmo espaçamento 3x2m para o plantio das espécies pioneiras típicas dos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica listadas na Tabela 36 e utilizadas por Nascimento (2007), o custo médio de recuperação seria U\$1.454,31/ha. Na Costa Rica, os projetos variam entre US\$320/ha contratos gerais, US\$375 dentro de áreas de proteção e US\$400 proteção hidrológica (PORRAS; NEVES, 2011).

Estudos de Arruda *et al.*; (2009) registraram 35 espécies herbáceas diferentes no reflorestamento heterogêneo de Cerrado em São Carlos. Os autores afirmam a dificuldade de encontrar maior variedade de espécies vegetais nativas, visto que a resolução SMA 47/03, que orienta o reflorestamento de áreas degradadas, não especifica quais utilizar.

Tabela 37 - Espécies arbóreas nativas

Espécie	Nome comum	Ocorrência	Fontes
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico preto	Cerrado	Duboc, 2004 Leles <i>et al.</i> , 2011
<i>Chorisia speciosa</i>	Painera	Floresta latifoliada semicídica	Duboc, 2004 Leles <i>et al.</i> , 2011
<i>Cordia superba</i>	Babosa branca	Mata ciliar da região Sudeste	Leles <i>et al.</i> , 2011
<i>Inga marginata</i>	Inga	Mata Atlântica	Duboc, 2004
<i>Schizolobium parayba</i>	Aroeira	Floresta semidecídua de altitude	Duboc, 2004 Leles <i>et al.</i> , 2011

Fonte : Nascimento (2007).

De acordo com a Tabela 38, os valores sugeridos na compensação Programa Produtor de Água (ANA) seriam na média de R\$75/ha. Recurso insuficiente isoladamente para competir com o mercado do citrus e biocombustíveis.

Tabela 38 - Valores sugeridos para Pagamentos Incentivados (VPI).

PAE (%)	25 - 50%	51 - 75%	75 - 100%
VPI (R\$/ha)	50	75	100

Fonte : Chaves *et al.*, 2004.

Quanto às adicionalidades proporcionadas pelos PSA, há relatos de surgimento de nascentes d'água no Oásis Apucarana e, ao menos em nível local, estudos indicam impactos na prevenção de erosão e ligações com a oferta dos serviços hidrológicos. Sob o ponto de vista de adequação legislativa, os mecanismos geram efeitos positivos através do incentivo financeiro e das cláusulas de condicionalidade, indicando ser uma importante ferramenta complementar para oferta dos SE (SIMÕES, 2014).

Os SA têm custos, e portanto, é de extrema importância que os usuários deste benefício contribua com as ações previstas para garantia da oferta dos SE. Em geral, a quantia dos pagamentos deve estar entre o mínimo disposto a aceitar dos proprietários rurais à montante e o máximo disposto a pagar pelos beneficiários à jusante.

Machado *et al.*(2016, no prelo) sugerem uma possível abordagem para obtenção de recursos alternativos na legislação por mecanismos de isenção fiscal a partir da Responsabilidade Fiscal Corporativa - Normativa nº Instrução. 87/1996 332. Destaca-se o potencial de auto sustentação, uma vez que os custos com o tratamento da água diminuiriam em razão dos sedimentos evitados. A qualidade da água seria privilegiada, pois os atuais sistemas de tratamento de água não removem metais e químicos, entre outros resíduos dos processos industriais.

Entre os recursos recebidos pelos proprietários para a operacionalização do projeto Conservador das Águas, 1/3 destinam-se à preservação da área monitorada pelos agricultores e os demais 2/3 cobrem os custos da transação que considera projetos técnicos, insumos e mão de obra necessária ao cumprimento das metas (PEREIRA, 2012; SIMÕES, 2014).

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou analisar a viabilidade econômica de recuperação ambiental através do instrumento de compensação na BHRF.

O SR e SIG mostraram-se ferramentas técnicas hábeis e econômicas para o apontamento das áreas elegíveis à recuperação, sendo 24% da bacia com usos do solo favoráveis à instalação da erosão hídrica.

Inicialmente foi constatado, através do comparativo temporal dos mapas de uso e cobertura do solo, que o aumento da área urbana e agrícola está com a diminuição da vegetação nativa. Este crescente risco à oferta dos SE é consequência do descumprimento das leis municipal, estadual e federal. Isto é refletido nos índices regulares de qualidade da água e consequentemente nos custos de tratamento.

É importante frisar que os tipos de uso do solo influenciam a oferta dos SE. Com a crescente impermeabilização e contaminação das áreas de recarga devido à expansão urbana na região de São Carlos e a intensificação agrícola, os custos com tratamento da água provavelmente aumentarão. A ausência de proteção das principais nascentes que contribuem com o Ribeirão do Feijão justifica os índices regulares de qualidade da água para fins de abastecimento público. Esta proteção deve ser parte das ações do Conselho Municipal de São Carlos, uma vez que é o maior beneficiário do manancial.

Outros tipos de uso e cobertura do solo também apresentam consequências negativas quando não são corretamente manejados. As pastagens representam a maior cobertura da bacia (43%), presentes inclusive nas APPs. Juntamente com o eucalipto, cana de açúcar e laranja, é responsável pelo aumento de 2.301,75 ha na área agrícola com simultâneo decréscimo na área ocupada pela vegetação nativa. A compactação do solo, abertura de novas áreas e a simplificação do ecossistema local em monocultura são as principais ações favoráveis à instalação dos processos erosivos e redução da biodiversidade.

O SR e SIG mostraram-se ferramentas técnicas hábeis e econômicas para o apontamento de áreas elegíveis à recuperação, sendo 24% da bacia com usos do solo favoráveis à instalação da erosão hídrica. Os SA simulados foram a) recomposição da vegetação ripária nas APPs e b) conversão das áreas de fragilidade (> 100 t/ha/ano) em

vegetação nativa (Cerrado e mata ciliar). Além disso foi estimado o custo de oportunidade de cada uso e cobertura inserida nas áreas elegíveis que aderisse ao programa PSA hipotético.

A proteção da vegetação ripária (Cenário 1) e a conservação dos remanescentes florestais nas áreas de fragilidade (Cenário 2) proporcionam significativa redução da expectativa da perda de solo por erosão, o que sugere eficácia dos SA. A mata ciliar foi a cobertura que mais se destacou na atenuação da entrega de sedimentos, sendo 89% da bacia reclassificada com perdas abaixo de 100 t/h/ano após a recomposição do Cenário 2 com a mata ciliar.

Porém, o maior entrave para a concretização do PSA é o alto custo de oportunidade dos proprietários rurais que cultivam laranja, cana de açúcar, eucalipto e criam gado. Isto porque movimentam a economia local e, diferentemente da preservação da floresta e dos SE, possuem incentivo e são (muito bem) valorados no mercado.

Contudo, Machado *et al.* (2016, no prelo) identificaram possíveis compradores dos SA dispostos a pagarem pela proteção dos recursos hídricos. O montante representou 57% do lucro dos proprietários rurais para o ano de 2014, que poderia ser recolhido através da conta de água. Outras fontes de financiamento poderiam suprir os custos da conversão das áreas prioritárias em vegetação nativa, inclusive os custos evitados com o tratamento devido à redução dos sedimentos.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

A próxima etapa para a continuação do estudo de implantação de um programa PSA na BHRF é o acesso à estrutura fundiária e a entrevista em campo sobre a Disposição a Aceitar (DAA) incentivos econômicos dos proprietários rurais. Neves *et al.* (2015) sugeriram algumas espécies nativas para o plantio, porém o design das áreas a serem conservadas deveriam ser definidas com auxílio de imagens de satélites mais precisas. Recomenda-se também uma análise jurídica no sentido de compreender melhor a diferenciação entre os proprietários rurais obrigatoriamente responsáveis no cumprimento e execução das ações protetoras e conservacionistas das APPs e quais são alvo das compensações.

GLOSSÁRIO

Cadastro Ambiental Rural (CAR) - É um registro eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais, que tem por finalidade integrar as informações ambientais referentes à situação das Áreas de Preservação Permanente (APP), das áreas de Reserva Legal (RL), das florestas e dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Uso Restrito e das áreas consolidadas das propriedades e posses rurais do país (Sicar, 2015).

Capital Natural - É o estoque de recursos naturais existentes que gera um fluxo de serviços tangíveis e intangíveis, direta e indiretamente úteis aos seres humanos (COSTANZA; DALY, 1992).

Commoditie - Tudo aquilo que, se apresentando em seu estado bruto (mineral, vegetal etc), pode ser produzido em larga escala; geralmente se destina ao comércio exterior e seu preço deve ser baseado na relação entre oferta e procura.

Comprador - Responsável pela demanda ou por investimentos em serviços ambientais. Pode ser qualquer pessoa física ou jurídica que esteja disposta a pagar pelos serviços ambientais: ONGs, empresa privada, governos, cidadãos¹² (ENGEL et al., 2008).

Custo de oportunidade - Equivale ao possível ganho que o indivíduo obteria pela escolha da segunda melhor opção numa decisão qualquer. Considerando que o agente econômico toma decisões racionais, ele opta sempre pela melhor opção e abre mão do ganho ou remuneração que receberia pela escolha da segunda melhor opção.

Externalidade - Quando um agente econômico causa uma perda (ou um ganho) de bem-estar em outro agente econômico e essa perda (ou ganho) não é compensada.

Função ecossistêmica - Capacidade de fornecer benefícios úteis ao bem-estar humano

Módulo Fiscal - é uma unidade de medida expressa em hectares. Seu tamanho varia para cada município e depende principalmente das condições de produção: dinâmica do mercado,

¹² <http://www12.senado.gov.br/codigoflorestal/infograficos/servicos-ambientais>

infraestrutura instalada, disponibilidade tecnológica, além de aspectos naturais como solo e água (BRASIL, 2012e).

Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) - O Pagamento por Serviços Ambientais é um mecanismo criado para fomentar a criação de um novo mercado, que tem como mercadoria os processos e produtos fornecidos pela natureza, como a purificação da água e do ar, a geração de nutrientes do solo para a agricultura, a polinização, o fornecimento de insumos para a biotecnologia, etc¹³.

Provedor - Aquele indivíduo ou grupo que conserva os ecossistemas e é recompensado por realizar um trabalho que gera benefícios à coletividade, seja em nível local ou global. Assume uma ação voluntária - decide manter um ecossistema, entre outras opções de uso do solo¹².

Resiliência - Habilidade dos ecossistemas de retornarem em seu estado natural após um evento de perturbação natural ou não natural, sendo que, quanto menor o período de recuperação, maior é a resiliência. Pode também ser medida da magnitude dos distúrbios que podem ser absorvidos por um ecossistema sem que o mesmo mude seu patamar de equilíbrio estável (ARROW *et al.*, 1995).

Serviço ambiental (SA) - São iniciativas individuais ou coletivas que podem favorecer a manutenção, a recuperação ou melhoramento dos serviços ecossistêmicos.

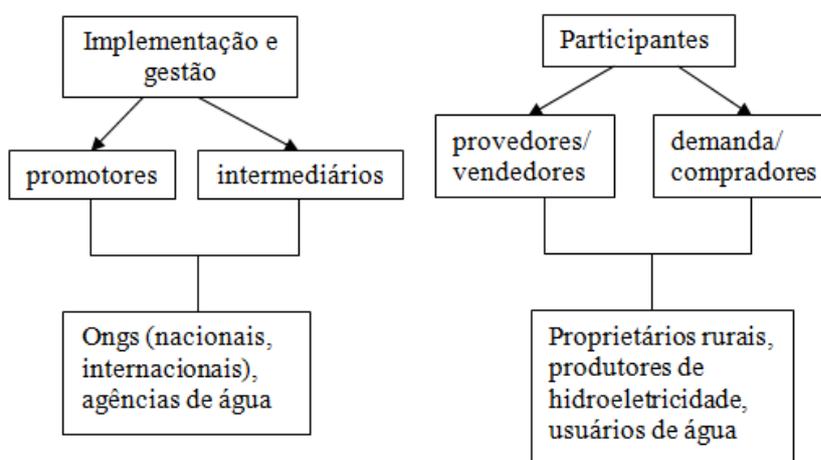
Serviço ecossistêmico (SE) - São aqueles prestados pelos ecossistemas naturais e as espécies que os compõe, na sustentação e no preenchimento das condições para permanência da vida humana na Terra (DALY, 1997; COSTANZA *et al.*, 1997).

Sistema Agroflorestal (SAF) - São formas de uso ou manejo da terra, nos quais se combinam espécies arbóreas (frutíferas e/ou madeireiras) com cultivos agrícolas de forma simultânea ou em seqüência temporal e que promovem benefícios econômicos e ecológicos. Os sistemas agroflorestais ou agroflorestas apresentam como principais vantagens, frente a agricultura convencional, a fácil recuperação da fertilidade dos solos, o fornecimento de adubos verdes, o controle de ervas daninhas, entre outras coisas.

¹³ http://br.boell.org/sites/default/files/analise-psa-codigo-florestal-e-teeb-_terra-de-direitos.pdf

Sistema Agrossilvipastoril (SASP) - ou Sistema Silvipastoril (SSP) é a combinação intencional de árvores, pastagem e gado numa mesma área ao mesmo tempo e manejados de forma integrada, com o objetivo de incrementar a produtividade por unidade de área.

Stakeholder - É uma pessoa ou grupo que possui participação, investimento ou ações e que possui interesse em uma determinada empresa ou negócio. *Stake*, do inglês, significa interesse, participação, risco. Enquanto *holder* significa aquele que possui. *Stakeholder* também pode significar partes interessadas, sendo pessoas ou organizações que podem ser afetadas pelos projetos e processos de uma empresa¹⁴. No caso do estudo (Fonte: Adaptado de Martin-Ortega; Ojea e Roux, 2012).



Trade-offs - Utilizada na literatura econômica para designar situações de escolha entre opções conflitantes. Por exemplo, quando um governo, uma empresa ou uma dona de casa se depara com um cenário em que precisa decidir por uma das opções apresentadas abrindo mão das demais, eles estão diante de um *trade-off*. Nas Ciências Econômicas, um dos *trade-offs* mais citado é o caso da Curva de Phillips que implica na decisão do governo por maiores taxas de inflação ou maiores taxas de desemprego.¹⁵

Valoração: Determinação de valor para o trabalho da natureza. Considera-se o valor de uso direto (produção de madeira, beleza cênica para turismo); valor de uso indireto (regulação do clima e manutenção de ciclo hidrológico); e o valor de não uso (preservação de espécies ameaçadas)¹².

¹⁴ <http://www.portal-administracao.com/2014/07/stakeholders-significado-classificacao.html>

¹⁵ <http://www.tradeoff.ecn.br/2011/06/afinal-o-que-e-trade-off.html>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. 2ª edição, Brasília: ANA, 2012. 84 p

AGROANALYSIS. **Arrendar ou produzir?** cana de açúcar. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=1716>. Acesso em ago, 2015.

ANUALPEC - ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA. **Anualpec 2010**. AgraFNP - Consultoria e Informações em Agronegócio, São Paulo - SP, 2010, 360 p.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para discussão**. IE/UNICAMP, n. 155, 2009a. ISSN 0103-9466.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP, n. 159, 2009b. ISN 0103-9466.

ARRUDA, R.; FLORENCIO, C.; FIGUEIREDO, R. A.; LIMA, M. I. S.; SALVADOR, N. N. B. Composição e fenologia de espécies herbáceas nativas em reflorestamento heterogêneo. **Revista Floresta**, 39 (3): 525-533, 2009.

ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSON, B. O.; LEVIN, S.; MÄLER, K. G.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Science**, 268, p. 520-521, 1995.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural - PRONAMP** Investimento. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/pronamp.html>. Acesso em mar, 2015.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the grand river basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, 7: 49-59, 2009.

BONACHEA, J.; BRUSCHI, V. M.; HURTADO, M. A.; FORTE, L. M.; DA SILVA, M.; ETCHEVERRY, R.; CAVALLOTTO, J. L.; DANTAS, M. F.; PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V.; BEZERRA, M. A. DE O.; REMONDO, J.; RIVAS, V.; AROZAMENA, J. G.; FERNÁNDEZ, G.; CENDRERO, A. Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Rio de la Plata basin. **Science of the Total Environment**. 408: 2674-2695, 2010.

BRASIL. **Lei nº 4.504 de 30 de Novembro de 1964.** Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4504.htm>. Acesso em Dez de 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regula o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM>. Acesso em: Ago de 2014.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 60/MMA/2008.** Institui a Política Nacional dos Serviços Ambientais, o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais, estabelece formas de controle e financiamento desse Programa, e dá outras providências. Brasília, 13 de agosto de 2008. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/667325.pdf>>. Acesso em: Jul de 2014.

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 2002a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>>. Acesso em: mar, 2015.

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 2002b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>>. Acesso em: mar, 2015.

BRASIL. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002c. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 ago 2012c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=374>>. Acesso em jan, 2015.

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/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: mar, 2015.

BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012a. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 out. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm>. Acesso em mar, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012b. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 28 maio 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651.htm>. Acesso em mar, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012c. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 out. 2012b. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm>. Acesso em mar, 2015.

BRASIL. Senado Federal. **Reforma do Código Florestal**. 2012d. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/codigoflorestal/infograficos/pequena-propriedade-e-agricultura-familiar>>. Acesso em: 20 out. 2012.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª ed., São Paulo: Ícone. 355p, 1999.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. (org). **Dossiê ABRASCO Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão popular, 624 p., 2015. Disponível em <http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf>. Acesso em dez, 2015.

CAVALCANTE, T. D. M. **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 (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá -UNIFEI, 2013. 91p.

CBH - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2013: Ano base 2012**. UGRHI 13 - Bacia hidrográfica Tietê-Jacaré. Araraquara: SIGRH, 2013. p.114. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7476/relatorio-de-situacao-2013-cbh-tj.pdf>> Acesso em Mar, 2013.

CELLA, D.; ROSSI, M. C. L. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil. **Interface tecnológica**, 7:1, 2010.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em jul, 2015.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

CHAUDHARY, S.; MCGREGOR, A.; HOUSTON, D.; CHETTRI, N. The evolution of ecosystem service: A time series and discourse-centered analysis. **Environmental Science & Policy**, 54: 25-34, 2015.

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

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, J. R.; B. DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. Quantificação dos custos e benefícios do “Programa do Produtor de Água”/ANA: I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 9(3), 2004.

CHIBA, W. A.C.; PASSERINI, M. D.; BAILO, J. A. F.; TORRES, J. C.; TUNDISI, J. G. Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the Southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 71 (4): 833-843, 2015.

CHIODI, R. E.; PUGA, B. P.; SARCINELLI, O. Análise institucional do mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais: o Projeto Conservador das Águas em Extrema - MG. **Revista de Políticas Públicas** (UFMA), 17(1):37-47, 2013.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Laranja**. Safra 2011/2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_12_17_44_13_arquivo_editavel_capa_laranja..pdf>. Acesso em mai, 2015a.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Cana de açúcar**. Safra 2011/2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf>. Acesso em mai, 2015b.

CORBERA, E. **Payments for Environmental Services: Are they a solution for conservation?** European Forest Institute Winter School. Freiburg, Mar, 2011. Disponível em: <http://www.eficient.efi.int/files/attachments/eficient/corbera_pes.pdf>. Acesso em Fev, 2015.

COSTA, C. W. **Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2010. 142 f.

COSTA, C. W.; DUPAS, F.A.; PONS, N. A. D. Regulamentos de uso e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP. **Geociências**, v.31, n.2, p.143-157, 2012.

COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geociências**, v.32, n.1, p.63-80, 2013.

COSTA, C.W.; LORANDI, R.; DUPAS, F.A. Expansão urbana em áreas de mananciais e a legislação municipal: o caso de São Carlos, SP. **I CONGRESSO NOVOS DIREITOS CIDADES EM CRISE?** São Carlos: UFSCAR, 2015a. p. 114-120. Disponível em: <

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

http://www.novosdireitos.ufscar.br/congresso/copy2_of_ANAISDOICONGRESSONOVOSDIREITOS.pdf> Acesso em ago, 2015.

COSTA, C.W.; LORANDI, R.; DUPAS, F.A. Legislação municipal e a proteção das áreas de recarga em mananciais urbanos: São Carlos, SP. **I CONGRESSO NOVOS DIREITOS CIDADES EM CRISE?** São Carlos: UFSCAR, 2015b. p. 175-182. Disponível em: <http://www.novosdireitos.ufscar.br/congresso/copy2_of_ANAISDOICONGRESSONOVOSDIREITOS.pdf> Acesso em ago, 2015b.

COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; LORANDI, R.; OLIVEIRA, E. Z. Follow-up of environmental impacts upon water sources of São Carlos, Brazil. **14 TH COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT.** p. 156-22. Disponível em: <http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/modeling/156_costa_h.pdf>. Acesso em out, 2015.

COSTANZA, R.; DALY, H. E. Natural capital and sustainable Development. **Conservation Biology**, 6:1, p. 37-46, 1992.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S. GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O' NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M.. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387: 253-260, 1997

CROWTHER, T. W. ; GLICK, H. B.; COVEY, K. R.; BETTIGOLE, C.; MAYNARD, D. S. THOMAS, S. M.; SMITH, J. R.; HINTLER, G.; DUGUID, M. C.; AMATULLI, G.; THUANMU, M.-N.; JETZ, W.; SALAS, C.; STAM, C.; PIOTTO, D.; TAVANI, R.; GREEN, S.; BRUCE, G.; WILLIAMS, S. J.; WISER, S. K.; HUBER, M. O.; HENGEVELD, G. M.; NABUURS, G. -J.; TIKHONOVA, E.; BORCHARDT, P.; POWRIE, L. W.; FISCHER, M.; HEMP, A.; HOMEIER, J.; CHO, P.; VIBRANS, A. C.; UMUNAY, P. M.; PIAO, S. L.; ROWE, C. W.; ASHTON, M. S.; CRANE, P. R.; BRADFORD, M. A. Mapping tree density at a global scale. **Nature**, 525: 201-205, 2015.

CUNHA, R. C. da; **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). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 99 f. 2011a.

CUNHA, R. C. ; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D. ; TUNDISI, José Galizia . Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. **Geociências** (São Paulo. Impresso), v. 30, p. 399-414, 2011b.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: Principles and Applications.** 2ª ed. Washington: Island Press, 2011. 509 p.

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.** v.51, n.5, 427 - 433, 1996.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

DITT, E. H.; MOURATO, S.; GHAZOUL, J.; KNIGHT, J. Forest conversion and provision of ecosystem services in the brazilian atlantic forest. **Land degradation & Development**. 21: 591-603, 2010.

DOSSA, D.; CONTO, A. J. de; RODIGHERI, H.; HOEFLICH, V. A. **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grãos**. Colombo - PR: Embrapa Florestas, 2000. 56p.

DOSSEKEY, M. G.; VIDON, P.; GURWICK, N. P.; ALLAN, C. J.; DUVAL, T. P.; LOWRANCE, R. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. **Journal of the American Water Resources Association** 46: 261–277, 2010.

DUBOC, E. **Cultivo de espécies nativas do bioma Cerrado**. Comunicado Técnico 110. 1ª ed. Planaltina, DF: MAPA, 2004. 10p.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva Manual**. v. 17, Clark University, 2012. 322 p.

EARP, H. N. S.; ROMEIRO, A. R. The entropy law and the impossibility of perpetual economic growth. **Open Journal of Applied Sciences**, 5, 641-650, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) – **Balço Energético Nacional 2013**: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288 p.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of issues. **Ecological Economics**, nº 65, p.663-674, 2008.

EXTREMA (cidade). **Curso de Pagamentos por Serviços Ambientais – Projeto Conservador das Águas**. Extrema: Secretaria do Meio ambiente de Extrema, 2010. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/psa/>>. Acesso em: set, 2010.

FAEG - FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE GOIÁS. **Estimativa de custo de produção da cultura de cana-de-açúcar**. Elaboração: FAEG/GETEC, Goiânia - GO, 2011. Disponível em: <www.faeg.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=10&Itemid=130> Acesso em fev 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture**. Food aid for food security? Rome: FAO, 2006. 168 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Testing field methods for assessing the forest protective function for soil and water**. Rome: Forest Resources Assessment Working Paper 185/e, 2015a. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4509e.pdf>>. Acesso em jul, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Towards a water and food secure future**. Critical Perspectives for Policy-makers. Rome: World water council, 2015b. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4560e.pdf>>. Acesso em jul, 2015.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

FARINASSO, M.; CARVALHO, 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 perda de solo utilizando novas metodologias em Sig para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba - Pi-Ma. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, nº 2, 2006.

FERNANDES, J. F.; DE SOUZA, A. L. T.; TANAKA, M. O. Can the structure of a riparian forest remanant influence stream water quality? A tropical case study. **Hydrobiologia**, 724: 175-185, 2014.

FARLEY, J.; COSTANZA, R. Payments for ecosystem services: From local to global. **Ecological Economics**, nº 69, p. 2060-2068, 2010.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - USP, 2012. 156 f.

FERRARO, P. J. The Future of Payments for Environmental Services. **Conservation Biology**, vol. 25, nº 6, p. 1134-1138, 2011.

FERREIRA, M. N.; NAHUR, A. C. (Coord. técnica). **Diretrizes para Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais** - Iniciativa Diretrizes PNPSA - WWF - Brasil. Brasília, novembro, 2014.

FOUCAT, V. S. A.; FERNÁNDEZ, D. A. R. Análisis financiero y percepción de los servicios ambientales de un sistema silvopastoril: un estudio de caso en los Tuxtlas, México. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, 22: 17-33, 2014.

GALO, M. **Eucalipto: custos de produção. Centro de Inteligência em Florestas - CI Florestas, 2008.** Disponível em: <www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_custo_gerais_9033.xls> Acesso em mar 2014.

GHILARDI, A. A.; MAIA, M. L.; NEGRI, J. D. de. **Laranja para indústria: custo básico de produção na safra agrícola 2003/04**. Instituto de Economia Agrícola - IEA, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, São Paulo - SP, 2004.

GONÇALVES, A. R. L. **Geologia ambiental da área de São Carlos**. Tese (Doutorado em Geologia geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986. 138 p.

GOSS, C. W.; GOEBEL, P. C.; SULLIVAN, S. M. Shifts in attributes along agriculture-forest transitions of two streams in central Ohio, USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 197: 106-117, 2014.

GROOT, R. S. de; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, 41: 393-408, 2002.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios** - Série Biodiversidade, 42. Brasília: MMA,. 272 p. 2011.

GUSIKUDA, A. Nova técnica reduz até 70% o custo de restauração florestal. **KLFF**, nº 8, 2013. Disponível em: <<http://www.portalklff.com.br/edicoes.asp?ed=8#/page/1>> Acesso em: out 2014.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A erosão e seu impacto. In: MANZATO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. (ed.).1ªed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174p.

HERNANI, L. C. O manejo e conservação de solo e água. **Revista Ação Ambiental**, v.6, nº 24, 2003, p. 14-17.

HUNINK, J. E.; DROOGERS, P.; KAUFFMAN, S.; MWANIKI, B. M.; BOUMA, J. Quantitative simulation tools to analyse up- and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the Green Water Credits program of Kenya. **Journal of Environmental Management** 111: 187 - 194, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases e referências cartográficas**. Disponível em < <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas> >. Acesso em abr, 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área territorial de São Carlos**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.php?nome=S%E3o+Carlos&codigo=&submit.x=37&submit.y=4>> Acesso em mar, 2015.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios mensais recebidos pelos agricultores**. Banco de dados *online* Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/precos_medios.aspx?cod_sis=2>. Acesso em jul, 2012.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens**. RESOURCE SAT, 2012. Disponível em < www.inpe.br >. Acesso em abr, 2014a.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Características das Imagens ResourceSat-1 - INPE/OBT/DGI**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>>. Acesso em dez, 2014b.

IPCA/IBGE - ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO. **Séries históricas** - IPCA (em formato zip). Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm>. Acesso em Mar, 2015.

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.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. **Cadernos Metrópole**, v.17, n° 33, p. 61-81, 2015a.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, R. A.; TOLEDO, R. F. (org). **Temas atuais em mudanças climáticas para os Ensinos Fundamental e Médio**. 1ªed. São Paulo: IEE-USP, 2015b, 112 p.

JAMSHIDI, R.; DRAGOVICH, D.; WEBB, A. Estimating catchment-scale annual soil loss in managed native eucalypt forests, Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 304, p. 20-32, 2013.

JONES, K. B.; NEALE, A. C.; NASH, M. S.; VAN REMORTEL, R. D.; WICKHAM, J. D.; RITTERS, K. H.; O'NEILL, R. V. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: a multiple watershed study from the United States Mid- Atlantic Region. **Landscape Ecology**, 61: 301-312, 2001

KFOURI, A; FAVERO, F. **Projeto Conservador das Águas Passo a Passo: Uma Descrição Didática sobre o Desenvolvimento da Primeira Experiência de Pagamento por uma Prefeitura Municipal no Brasil**. Brasília: The Nature Conservancy do Brasil, 2011. 58 p.

KOELLNER, T.; SELL, J.; NAVARRO, G. Why and how much are firms willing to invest in ecosystem services from tropical forests? A comparison of international and Costa Rican firms. **Ecological Economics**, vol. 69, p. 2127-2139, 2010.

KUNZ, T. H.; TORREZ, E. B.; BAUER, D.; LOBOVA, T.; FLEMING, T. H. Ecosystem services provided by bats. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 1223:1-38, 2011.

LANDAU, E. C.; da CRUZ, R. K.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M.; GUIMARÃES, D. P. **Varição geográfica do tamanho dos Módulos Fiscais no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 199 p, 2012.

LANDELL-MILLS, N.; PORRAS, T. I. **Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor**. Instruments for sustainable private sector forestry series. London: International Institute for Environment and Development., 249 p, 2002.

LEAL J. V.; TODT, V.; THUM, A. B. O Uso de SIG para monitoramento de áreas degradadas - Estudo do Caso: App do Arroio Gil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n° 65/5, p. 967-983, Rio de Janeiro, set/out 2013.

LELES, P. S. S.; ABAURRE, G. W.; ALONSO, J. M.; NASCIMENTO, D. F.; LISBOA, A. C. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scintia Florestalis**, vol. 39, nº 90, p. 231-239, 2011.

LEWINSOHN, T. M. (Ed.). **Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira**. [s.l.], MMA, 2006.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, 51 (2):189-196, 1992.

LUZ, F. G. F. **Avaliação do potencial de utilização dos dados da SRTM - Shuttle Radar Topography Mission por meio da análise da estimativa de perda de solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2012. 89 f.

MACHADO, F. H. **Valoração econômica dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2011. 127 f.

MACHADO, F. H.; SILVA, L. F.; DUPAS, F. A.; MATTEDI, A. P.; VERGARA, F.E. Economic assessment of urban watersheds: developing mechanisms for environmental protection of the Feijão river, São Carlos - SP, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. 74 (3), 2014.

MACHADO, F. H.; MATTEDI;DUPAS, F. A.; SILVA, L. F.; VERGARA, F. E. Estimating the opportunity costs of environmental conservation in the Feijão river watershed (São Carlos-SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology** (no prelo), 2016

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cana de açúcar**, saiba mais. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar/saiba-mais>>. Acesso em jul, 2015.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois dolos da região dos cerrados - primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:427-434, 1997.

MARTIN-ORTEGA, J. ; OJEA, E.; ROUX, C. Payments for Water Ecosystem Services in Latin America: Evidence from Reported Experience. **BC3 Working Paper Series**. Spain: Basque Centre for Climate Change (BC3), 2012.

MAY, P. H. Avaliação integrada da economia do meio ambiente: propostas conceituais e metodológicas. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A.(org) **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. 2ª ed. Campinas: Unicamp, 1999. p.55-62.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

MDA - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Estatística do meio rural 2008**. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos/Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. Brasília: MDA: DIEESE, 2008. 280p.

MEA- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>> Acesso em abr, 2015.

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, 537-545, 2007.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN S. E. **Living in the Environment**. Concepts, connections, and solutions. 16th., Belmont: Brooks/Cole. 828 p., 2011.

MISERENDINO, M. L.; CASAUX, R.; ARCHANGELSKY, M.; DI PRINZIO, C. Y.; BRAND, C.; KUTSCHKER, A. M. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams, **Science Total Environmental**, 409: 612-624, 2011.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano nacional de recursos hídricos: Programas de desenvolvimento da gestão integrada de recursos hídricos do Brasil**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Volume 1, 2008. 152 p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2011.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa produtor de água apresenta resultados. **Acessoria de Comunicação Social**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=742> Acesso em Fev, 2015.

MONTAGNINI, F.; FINNEY, C. Payments for Environmental Services in Latin America as a Tool for Restoration and Rural Development. **AMBIO** 40: 285-297, 2011.

MOREIRA, M.C.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, T. E. C.; PINTO, F. A. C.; SILVA, D. D. NetErosividade MG: Erosividade da chuva de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32: 1349-1353, 2008.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, 69: 1202-1208, 2010.

MOTTA, R. S.; MENDES, F. E. Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A.(org) **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. 2ª ed. Campinas: Unicamp, 1999. p.127-152.

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, 69: 1202-1208, 2010.

NASCIMENTO, D. F. **Avaliação do crescimento inicial, custos de implantação e de manutenção de reflorestamento com espécies nativas em diferentes espaçamentos**. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 60f.

NEVES, J. A.; MATOS, J. C. S.; LUZ, F. G. F.; DUPAS, F. A. Recuperação de áreas de preservação permanente com sistema agroflorestal. **CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS**, 7:1, 2015. Disponível em: <http://www.meioambientepocos.com.br/anais/index.php>> Acesso em out, 2015.

NISBET, D.; KREUTZWEISER, D.; SIBLEY, P.; SCARR, T. Ecological risks posed by emerald ash borer to riparian forest habitats: A review and problem formulation with management implications. **Forest Ecology and Management**, 358: 165-173, 2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher. 2010. 387 p.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C.; PAULA, E. V. Utilização do SIG na delimitação das áreas de preservação permanente (APP's) na bacia do rio Sagrado (Morretes/PR). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (1): 107-120, 2010.

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

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena** 100, p.139-147, 2012

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. L.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; NETO, G. K.; ARAÚJO, E. F. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. **Ciencia e Agrotecnologia**, 37(3):159-169, 2013.

PAES, F. S. **Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na preservação da perda de solo por erosão**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá -UNIFEI, 2010, 73 f.

PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; da 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)**. Geociências (UNESP. Impresso) ,v. 29, p. 537-549, 2010.

PAGIOLA, S.; ARCENAS, A. e PLATAIS, G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and evidence to date from Latin America. **World Development** 33(2): 237-53, 2005.

PAGIOLA, S.; RAMÍREZ, E.; GOBBI, J.; HAAN, C. de; IBRAHIM, M.; MURGUEITIO, E.; RUÍZ J. P. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. **Ecological Economics**, nº 64, p.374- 385, 2007.

PAGIOLA, S.; Von Glehn, H. C.; TAFARELLO, D (Org.). **Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo: SMA/CBRN, 2012. 273 p.

PAGIOLA, S. P.; VON GLEHN, H. C.; TAFARELLO. **Brazil's experience with Payments for Environmental Services**. PES Learning Paper, Washington: WORLD BANK, 2013.

PANG, A.; SUN, T.; YANG, Z. **Economic compensation standard for irrigation processes to safeguard environmental flows in the Yellow River Estuary, China**. Journal of Hydrology, 482: 129-138, 2013.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. O.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.) **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 29-35. Disponível em: <www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14>. Acesso em set, 2015.

PATTANAYAK, S. K.; WUNDER, S. e FERRARO. Show me the money: Do payments supply environmental services in developing countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, 4 (2): 254-74, 2010.

PAULA, F. R.; FERRAZ, S. F.; GERHARD, P. ; VETTORAZZI, C. A.; FERREIRA, A. Large woody debris and its influence on channel structure in agricultural lands in Southeast Brazil. **Environmental Management** 48: 750–763, 2011.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº56/01, 2004.

PEREIRA, P. H. **Projeto Conservador das Águas - Extrema**. In: PAGIOLA, S. CARRASCOSA, H. V.; TAFARELLO, D. (Org). Experiências de serviços Ambientais no Brasil. São Paulo: SMA-SP/CBRN,p. 29-40, 2012.

PEREVOCHTCHIKOVA, M.; OGGIONI, J. Global and Mexican analytical review of the state of the art on ecosystem and environmental services: A geographical approach. **Investigaciones Geográficas**, Boletim del Instituto de Geografia: UNAM, 85: 47-65, 2014.

PORRAS, I; GRIEG-GRAN, M.; NEVES, N. All that glitters - A review of payments for watershed services in developing countries. **Natural Resource Issues**, nº 11. International Institute for Environment and Development. London, 2008. 130 p.

PORRAS, I.; NEVES, N. **Costa Rica- National PES programme**. Markets for Watershed Services - Contry Profile, IIED, 2011.

PRIA, A. D.; DIEDERICHSEN, A.; KLEMZ, C. Pagamento por Serviços Ambientais, Uma estratégia para a conservação ambiental nas regiões produtivas do Brasil? **Sustentabilidade em Debate**, 4(1): 317-340, 2013.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009, 279 p.

PUERTAS, O. L. HENRÍQUEZ, C.; MEZA, F. J. Assessing spacial dynamics of urban growth using an integrated land use model. Application in Santiago Metropolitan Area, 2010-2045. **Land use policy**, 38: 415-425, 2014.

RAMACHANDRAN NAIR, P. K. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. **Journal Environmental Quality** (Special Submissions) 40: 784-90, mar. 2011.

RODRIGUES, G. O. **Análise da acurácia temática das classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS-E e TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI, 2009, 97 f.

RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; MENDIONDO, E. M. Hydrological benefits in the context of Brazilian environmental services program. **Environ Dev Sustain**, 15: 1037-1048, 2013.

ROMA, J. C.; SACCARO JUNIOR, N. L.; PAULSEN, S. S.; VASCONCELLOS, P. G. **A economia de ecossistemas e da biodiversidade no Brasil (Teeb-Brasil): Análise de lacunas**. Texto para discussão 1912, Rio de Janeiro: IPEA, 2013. 67 p.

ROMEIRO, A. R., REYDON, B., LEONARDI, M. L. **Economia do meio ambiente**: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. 2ªed. Campinas: UNICAMP, 377 p. 1999.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos avançados**, vol. 26, nº 74, 2012.

ROMEIRO, A. R. Economia ecológica e valoração da natureza. **Leituras de economia política**, Campinas, 20, p. 149-161, 2013.

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

ROUMASSET, J. A.; WADA, C. A. **Groundwater economics without equations**. Working paper, UHERRO: University of Hawaii, 8p., 2014.

ROUMASSET, J. A.; WADA, C. A. A dynamic approach to PES pricing and finance of interlinked ecosystem services: Watershed conservation and groundwater management. **Ecological Economics**. 87, 24-33, 2013.

RUCKELSHAUS, M.; MCKENZIE, E.; TALLIS, H.; GUERRY, A.; DAILY, G.; KAREIVA, P.; POLASKY, S.; RICKETTS, T.; BHAGABATI, N.; WOOD, S. A.;

NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão, São Carlos, (SP). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2015.

BERNHARDT, J. Notes from the field: Lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. **Ecological Economics**, 115, p. 11-21, 2015.

SÃO CARLOS. Lei nº 13.944, de 12 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM e dá outras providências. Disponível em : < <https://leismunicipais.com.br/SP/SAO.CARLOS/LEI-13944-2006-SAO-CARLOS-SP.pdf>>. Acesso em jul, 2015.

SÃO CARLOS. **História da cidade**. Disponível em: <<http://www.saocarlosoficial.com.br/acidade/>> Acesso em fev, 2015.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados censitários de população**. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/>> Acesso em Jul, 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Conceitos para se fazer educação ambiental**. Série educação ambiental, 2ª ed., São Paulo, 1997. 112 p.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental**. 1ª ed., São Paulo: SMA, 215 p. 2013.

SEMERARO, T.; GIANNUZZI, C.; BECCARISI, L.; ARETANO, R.; DE MARCO, A.; PASIMENI, M. R.; ZURLINI, G.; PETROSILLO, I. A constructed treatment wetland as an opportunity to enhance biodiversity and ecosystem services. **Ecological Engineering**. 82: 517-526, 2015.

SICAR - SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL. **O que é o Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/#/>> Acesso em fev, 2015.

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. Galeria de Artigos Acadêmicos, **Fator GIS**, 9p., 2003.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B.. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos. Editora Rima, 138p., 2004.

SILVA, A. M.; ÁLVARES, 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, 33-41, 2005.

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. M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIGR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.5, p. 520-526, 2008.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, V.C.L.; SILVA, L.P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. Wageningen: Springer, v. 185, n. p. 8977-8990, 2013.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; NORTON, L. D. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnia**, 38(2)160:172, 2014.

SILVA, C. F.; AHAYDE, A. C. R.; SILVA, W. W.; RODRIGUES, O. G.; VILELA, V. L. R.; MARINHO, P. V. T. Avaliação da eficácia de taboa (*Typha domingensis* Per.) e batata-de-purga in natura sobre nematoides gastrintestinais de caprinos, naturalmente infectados, em clima semi-árido. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu 12(4), 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722010000400010> > Acesso set, 2015.

SIMÕES, M.; ANDRADE, D. C. Limitações da abordagem coaseana à definição do instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). **Sustentabilidade em Debate**, 4(1) 59-78, 2013.

SIMÕES, M. S. **Pagamentos por Serviços Ambientais sob uma ótica econômico-ecológica e institucionalista: reconciliando teoria e prática**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, 237f, 2014.

SOARES, J.J.; SILVA, D. W. da; LIMA, M. I. S. Current state and projections of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.63, n.3, 527-536, 2003.

SOUZA, A. L. T.; FONSECA, D. G.; LIBÓRIO, R. A.; TANAKA, M. O. Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality on rural low-order streams in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, 298 (15): 12-18, 2013.

SPERANDELLI, D.; DUPAS, F.A.; PONS, N.A.D. Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil. **Journal of Urban Planning and Development**, 139(4): 274-279, 2013.

STANTON, T.; ECHAVARRIA, M.; HAMILTON, K.; OTT, C. **State of Watershed Payments: An Emerging Marketplace**. Ecosystem Marketplace. Jun. 2010. Disponível em <http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_2438.pdf> Acesso em Out. 2013.

SUGA, C. M.; TANAKA, M. O. Influence of a forest remnant on macroinvertebrate communities in a degraded tropical stream. **Hydrobiologia**, 703: 203-213, 2013.

TACCONI, L. Redefining payments for environmental services. **Ecological Economics**, nº 73, p. 29-36, 2012.

TANAKA, M. O.; FERNANDES, J. F.; SUGA, C. M.; HANAI, F. Y.; DE SOUZA, A. L. T. Abrupt change of a stream ecosystem function along a sugarcane-forest transition: Integrating

riparian and in-strem characteristics. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, 207: 171-177, 2015.

TAVARES, M. F. F.; HABERLI JÚNIOR, C. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais**. Disponível em:

<<http://www2.espm.br/sites/default/files/fertilizantes.pdf>>. Acesso em jul, 2015.

TSONKOVA, P. BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; FREESE, D. Application of partial order ranking to identify enhancement potentials for the provision of selected ecosystem services by different land use strategies. **Agricultural Systems**, 135: 112-121, 2015.

TRAN, C. P.; BODE, R. W.; SMITH, A. J.; KEPPEL, G. S. Kleppel, Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). *Ecological Indicators*, 10: 727–733, 2010.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**. 22 (63), p. 97- 112, 2009.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI - Entendendo a escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2ª ed., 2005. p. 248.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, nº 70: 24-35, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestas nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, 10(4), Campinas, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032010000400010> >. Acesso em ago, 2015.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CIMINELLI, V. S.; BARBOSA, F. A. Water availability, water quality water governance: the future ahead. **Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. IAHS Publication**, 366, p. 75-79, 2015.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n.537, 58p., 1978.

WORLD BANK. **Agricultural land** (% of land area). Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS/countries?display=default>> Acesso em jul, 2015a.

WORLD BANK. **Fertilizer consumption** (kilograms per hectare of arable land). Disponível em: < <http://data.worldbank.org/indicator/AG.CON.FERT.ZS/countries?display=default>>. Acesso em jul, 2015b.

WORLD BANK. **Forest area** (sq. km). Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2/countries?order=wbapi_data_value_2012+wbapi_data_value+wbapi_data_value-last&sort=asc>. Acesso em jul, 2015.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: Some nuts and bolts.** CIFOR Occasional Paper Bogor: CIFOR n.42, 2005.

WUNDER, S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. **Ecological Economics** 65: 834-52, 2008.

WUNDER, S. et a. (org.) **Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal.** Brasília: MMA, 2009. 2ª Ed., Série Estudos, 10 .144 p.

ZABEL, A.; ENGEL, S. Performance payments: A new strategy to conserve large carnivores in the tropics? **Proceeding of the German Development Economics Conference**, Hannover, 2010, Nº 19. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/39986>> Acesso em jun, 2015.

ZOLIN, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MINGOTI, R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; PAULINO, J.; GONZÁLES, A. M. Minimização da erosão em função do tamanho e localização das áreas de floresta no contexto do programa "Conservador das águas". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 2157-2166, 2011.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G.; SILDA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C.; da SILVA, C. A.; BELTRÃO, N. E. M.; ALVES, I.; JÚNIOR, A. F. C.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N.; OLIVEIRA, M. C.; CUNHA, D. S.; da MOTA, M. O. S.; SOARES, A. N.; BARBOSA, H. F. **Práticas de Conservação de Solo e Água.** Campina Grande: EMBRAPA, Circular Técnica 133, 2012. 24 p.

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

APÊNDICE

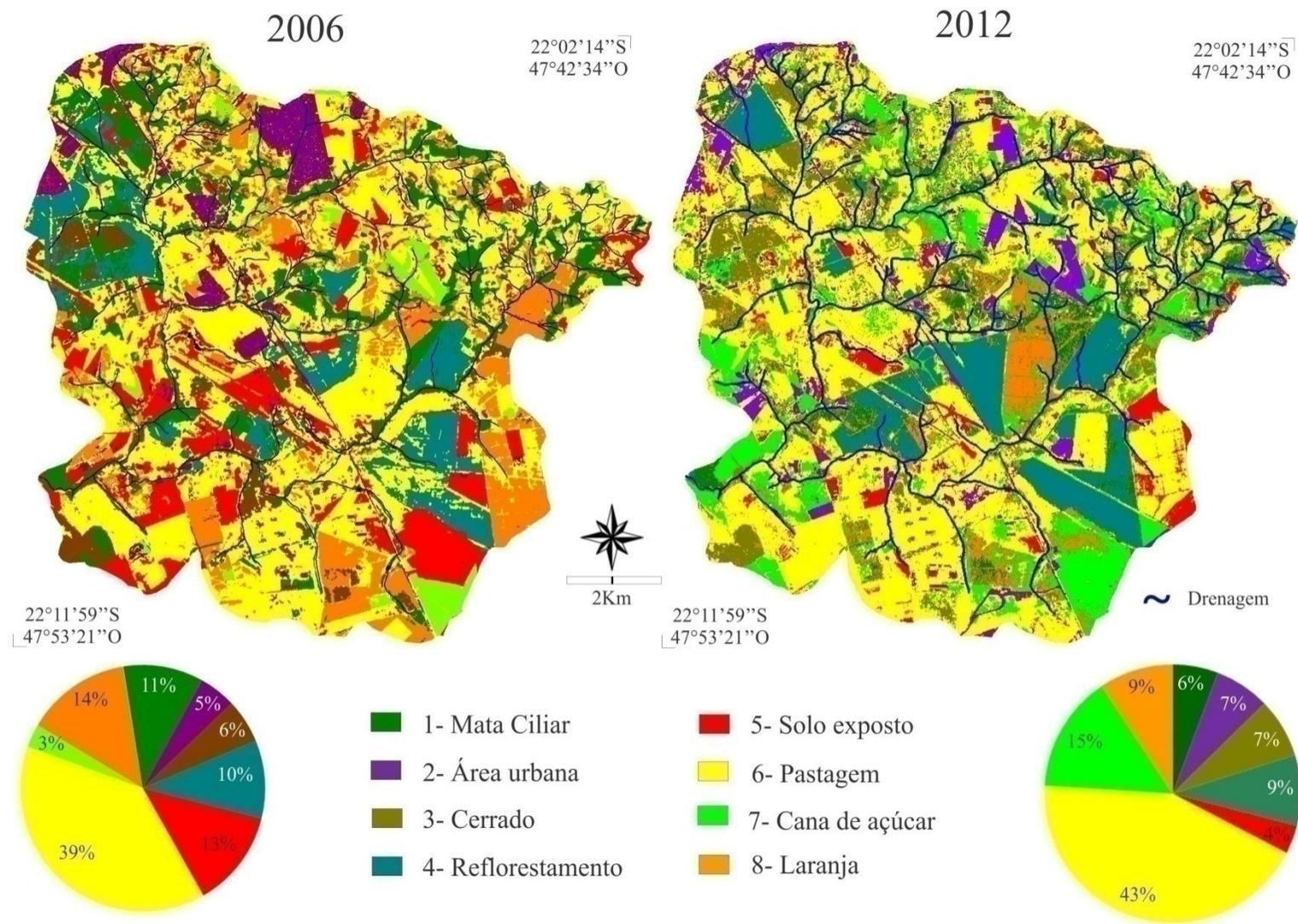


Figura 27 - Comparativo temporal do uso e cobertura do solo.

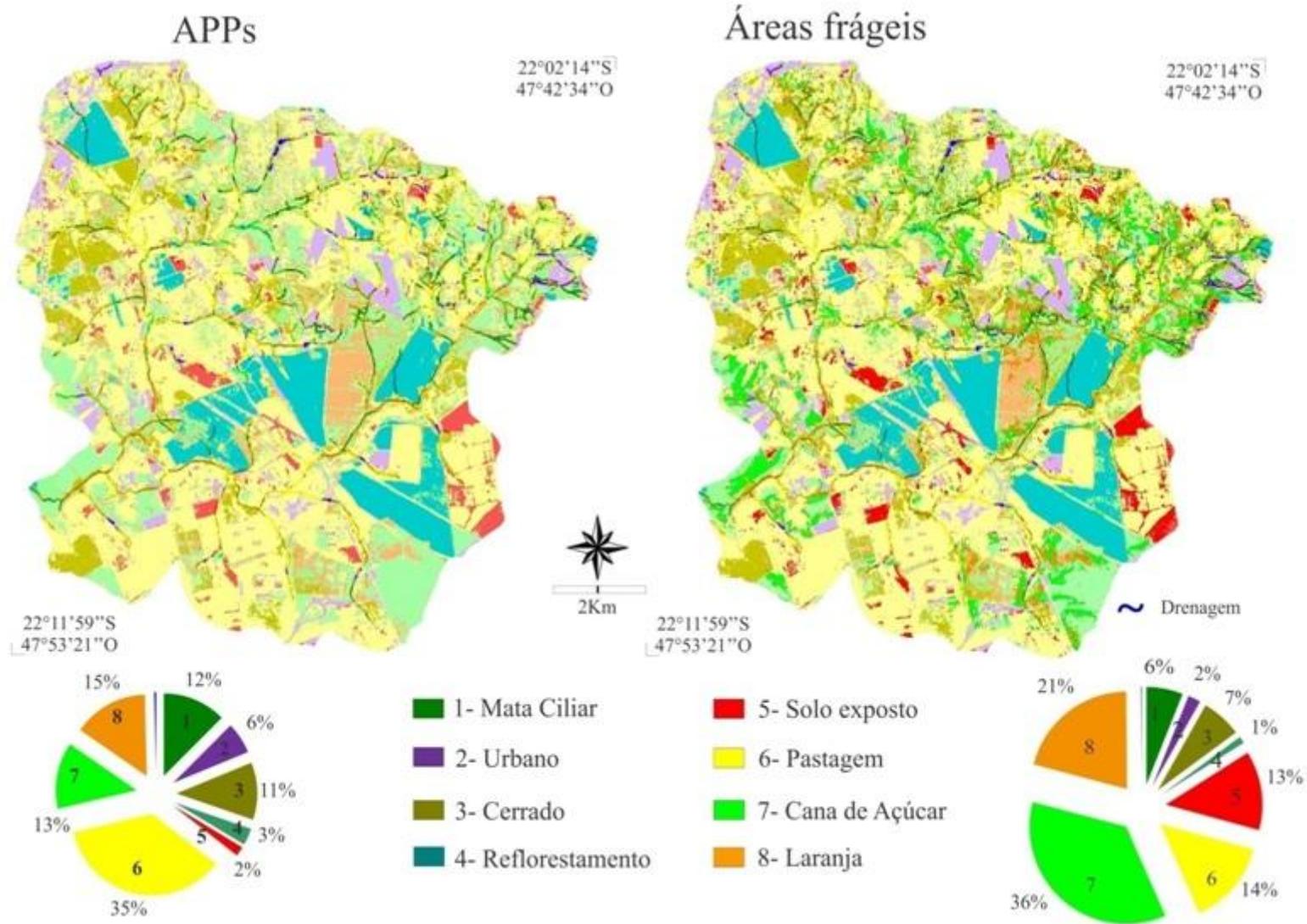


Figura 24 - Comparativos dos Cenários 1 e 2.

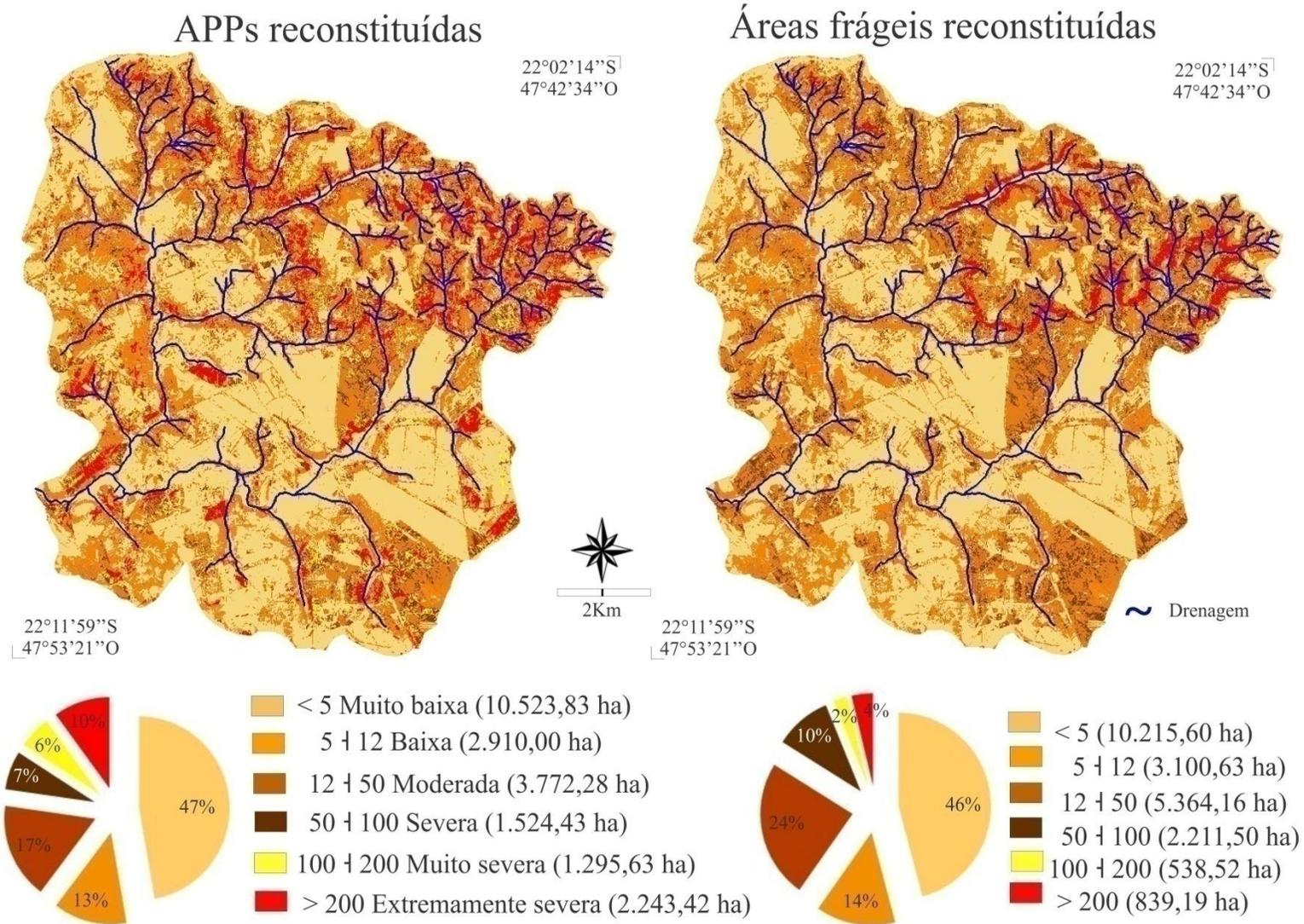
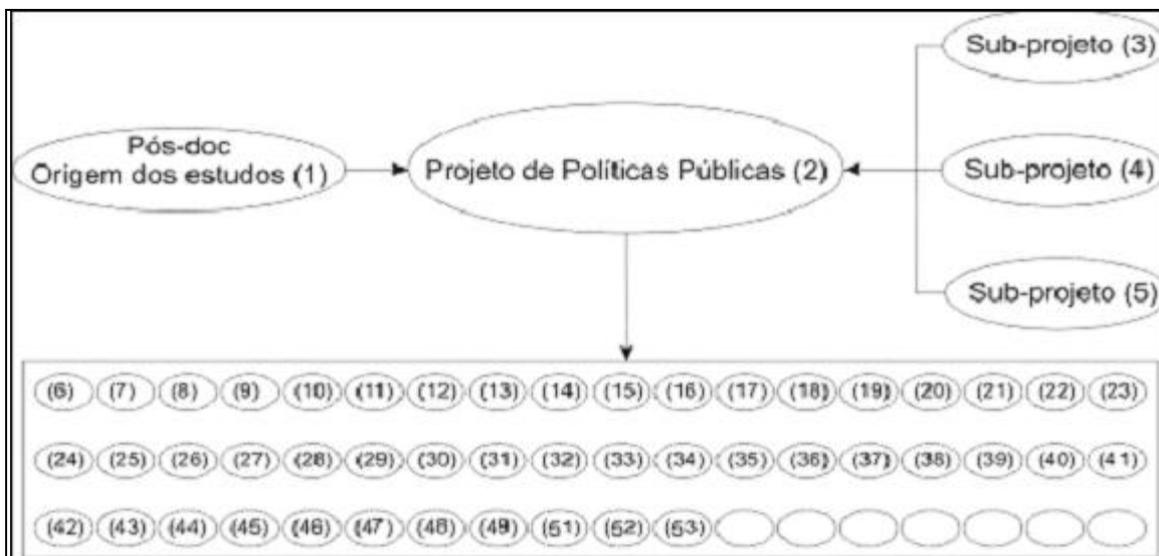


Figura 25 - Comparativos de EPS dos Cenários 1 e 2.

ANEXOS



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 (35) Já concluídos e em andamento após a vigência do projeto em 2007.
- (36) até (53) 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 compõe 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 SOUZA, A. T.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; ROHM, S. A. **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) SILVA e SOUZA, A. T.; SCHIBATTA, O. A.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; 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 Córrego 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 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. (2013). **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso 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.

(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) 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.
- (27) COSTA, C. W.; DUPAS, F.A.; PONS, N. A. D. **Regulamentos de uso e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP**. *Geociências*, v.31, n.2, p.143-157, 2012.
- (28) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. **Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP**. *Geociências*, v.32, n.1, p.63-80, 2013.
- (29) MACHADO, F. H; SILVA, L. F.; DUPAS, F. A; MATTEDI, A. P; VERGARA, F. E. **Economic assessment of urban watersheds: developing mechanisms for environmental protection of the Feijão river, São Carlos - SP, Brazil**. *Brazilian Journal of Biology*. 74 (3), 2014.
- (30) MACHADO, F. H.; MATTEDI; DUPAS, F. A.; SILVA, L. F.; VERGARA, F. E. **Estimating the opportunity costs of environmental conservation in the Feijão river watershed (São Carlos-SP, Brazil)**. *Brazilian Journal of Biology* (no prelo), 2016.
- (31) COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; LORANDI, R.; OLIVEIRA, E. Z. (2015) **Follow-up of environmental impacts upon water sources of São Carlos, Brazil**. 14 th Computers in urban planning and urban management, p. 156- 22, <http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/modeling/156_costa_h.pdf>

(32) COSTA, C. W. ; LORANDI, R.; DUPAS, F. A.. **Expansão urbana em áreas de mananciais e a legislação municipal: o caso de São Carlos, SP.** Congresso Novos direitos Cidade em crise? (Congresso).

(33) COSTA, C. W.; LORANDI, R.; DUPAS, F. A. (2015). **Legislação municipal e a proteção das áreas de recarga em mananciais urbanos: São Carlos, SP.** Congresso Novos direitos Cidades em crise? (Congresso).

(34) NEVES, J. A.; MATOS, J. C. S.; LUZ, F. G. F.;DUPAS, F. A.(2015) **Recuperação de áreas de preservação permanente com sistema agroflorestal.** Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. (Congresso).

(35) NEVES, J. A. **Estudo de compensação ambiental na bacia hidrográfica Ribeirão do Feijão, SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

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

(36) 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.

(37) 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.

(38) 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.

(39) 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.

(40) 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.

(41) 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.

(42) 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.

(43) 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.

(44) ABE, C. A. (2014) **Características do uso do solo de entorno e suas implicações em Unidade de Conservação. Estudo do Parque Nacional do Itatiaia, RJ.** Iniciação Científica. (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Itajubá, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

(45) 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).

(46) 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**.

(47) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D.. **Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil.** Journal of Urban Planning and Development **JCR**, 139(4): 274-279, 2013.

(48) ABE, C. A. (2014). **Comparação entre estimativa de perda de solo pela EUPS e a partir de medidas de turbidez em córregos de bacias hidrográficas na APA da Mantiqueira e proximidades.** Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Itajubá, CNPq.

(49) SIQUEIRA, F. B. **Análise comparativa dos instrumentos de gestão de áreas protegidas do Brasil e da Austrália.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(50) DE SOUZA, F. L. **Análise e proposta de legislação para pagamento por serviços ambientais ou ecossistêmicos.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(51) DA SILVA, H. J. **Estudo da relação entre a perda de solo e mananciais e áreas protegidas da Serra da Mantiqueira.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(52) BRANDÃO SILVA, L. K. **Desenvolvimento de software como subsídio na avaliação de impactos ambientais.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).

(53) COELHO, D. S. **Vegetação e expansão urbana em área protegidas e de mananciais.** Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento).