**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

GIOVANA DOMINICCI SILVA

**A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira: o caso
de duas sub-bacias hidrográficas formadoras do Reservatório
Jaguari-Jacareí.**

**São Carlos
2012**

GIOVANA DOMINICCI SILVA

**A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira: o caso
de duas sub-bacias hidrográficas formadoras do Reservatório
Jaguari-Jacareí.**

**Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em Ciências da
Engenharia Ambiental.**

**Área de Concentração: Ciências da Engenharia
Ambiental**

Orientador: Prof. Dr. Evandro Mateus Moretto

**São Carlos
2012**

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

S586a Silva, Giovana Dominicci
A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do
Sistema Cantareira: o caso de duas sub-bacias
hidrográficas formadoras do Reservatório
Jaguari-Jacareí. / Giovana Dominicci Silva; orientador
Evandro Mateus Moretto . São Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de
Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2012.

1. Vulnerabilidade ambiental. 2. Planejamento e
gestão ambiental. 3. Recursos hídricos. 4. Sistema
Cantareira. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Licenciada **GIOVANA DOMINICCI SILVA**.

Título da dissertação: "A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira: o caso de duas sub-bacias hidrográficas formadoras do Reservatório Jaguari-Jacareí".

Data da defesa: 11/07/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Evandro Mateus Moretto (Orientador)**
(Escola de Artes, Ciências e Humanidades/USP)

Aprovada

Prof. Dr. **Victor Eduardo Lima Ranieri**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof.^a. Dr.^a. **Almerinda Antonia Barbosa Fadini**
(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo/IFECTSP)

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Dr. **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*Dedico este trabalho ao meu pai Valdir, a minha mãe
Angela, a minha irmã-mãe Gisele, ao meu
cunhado-irmão Fábio e ao meu
sobrinho-filho Matheus.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Evandro Mateus Moretto, por ser um exemplo de orientador e de pessoa ética ... agradeço pela orientação, paciência, conselhos e pelo suporte em todos os momentos que precisei!

Ao Prof. Victor E. L. Ranieri por ter sido em muitos momentos um orientador quando estava em São Carlos, pelas conversas e ensinamentos.

À Profª Almerinda A. Barbosa Fadini pelas contribuições, auxílios e aprendizados!

Ao Prof. João Luiz e a Profª Cristiane pelos ensinamentos e pelas fotografias.

Ao Diego de Toledo L. da Silva, da ONG Pró-Joá, pelo auxílio e disponibilização de dados, informações e fotografias e por sempre estar disposto a ajudar!

À Pilar Cunha pela atenção e disponibilização dos dados.

À Raquel Junqueira Costa, gestora da APA Fernão Dias, pela sua disponibilidade, pelas dúvidas sanadas e pelas conversas.

À Marília Dominicci pelo auxílio com o abstract!

Ao amigo Fábio Bueno de Lima pela amizade, conversas, por ter me auxiliado em diversos momentos e por ter sido essencial na construção deste trabalho!

À grande amiga Jussara Christina Reis por ser uma amiga muito especial, pelas conversas, pelos desabafos!

A todos os amigos que fiz em São Carlos, por terem tornado estes últimos anos mais alegres e divertidos ... por serem AMIGOS em todos os momentos! Agradeço especialmente a Priscila Oppermann, Loretha Nascimento, Mariana Santos, André Sanchez, Érica Mendonça e Jéssica Santos!

Aos professores do programa pelos ensinamentos e atenção.

Aos funcionários do CRHEA pelo suporte e auxílio.

Aos integrantes são carlenses das minhas famílias Dominicci e Silva por terem tornado a minha estadia em São Carlos mais fácil ... por todos os momentos vividos, pois foram essenciais para o meu crescimento e amadurecimento!

Ao CNPq pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de estudo.

À minha família, principalmente aos meus pais e a minha irmã ... por serem a minha base! Agradeço o apoio, amor, carinho, compreensão!

Ao meu irmão Fábio e ao Matheus ... por terem tornado a minha família ainda mais especial!

Margens do Rio Jaguari em Camanducaia (MG)

Resumo

SILVA, G. D. A dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira: o caso de duas sub-bacias hidrográficas formadoras do reservatório Jaguari-Jacareí. 2012. 154p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

A realidade da maioria dos mananciais que abastecem regiões metropolitanas está intimamente ligada aos processos de uso e ocupação do seu entorno relacionados à expansão urbana e à proliferação de loteamentos e centros industriais, que são implantados sem uma adequada infraestrutura, interferindo de forma negativa na qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Neste contexto, estudos relacionados à vulnerabilidade ambiental tornam-se fundamentais para a compreensão do modo de apropriação e degradação direta e indireta dos ambientes, bem como de planejamento e gestão dos usos dos recursos hídricos. Essa é a realidade do Sistema Cantareira, responsável por fornecer água para metade da região metropolitana de São Paulo e também por regular o fluxo de água para a região metropolitana de Campinas. Este sistema de abastecimento vem se tornando alvo de um processo crescente de uso e ocupação que tem ocasionado intervenções no meio ambiente e gerado impactos socioambientais negativos de forma gradativa. Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar aspectos físicos, bióticos e de uso e ocupação do solo de duas sub-bacias hidrográficas pertencentes às bacias formadoras do reservatório Jaguari-Jacareí do Sistema Cantareira, como forma de entender melhor a dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental a qual este manancial tem estado exposto a partir do ano de 2000. A vulnerabilidade ambiental foi interpretada por meio de um modelo conceitual que relacionou fatores de exposição, de sensibilidade e de resiliência. Com isso foi possível identificar que as sub-bacias analisadas apresentaram diferenças pontuais quanto a sua exposição e sensibilidade, resultando em sub-bacias bastante vulneráveis na década analisada. Estes altos índices de vulnerabilidade ocorreram, na sub-bacia Jaguari, em função de crescentes processos de urbanização e na sub-bacia Jacareí pelo aumento da exposição por usos rurais e por sua alta fragilidade ambiental. Além da contribuição para o entendimento da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental em um caso específico, o trabalho buscou propor um modelo de análise e síntese da vulnerabilidade para sistemas hídricos.

Palavras-chave: vulnerabilidade ambiental, planejamento e gestão ambiental, recursos hídricos, Sistema Cantareira.

Abstract

SILVA, G. D. The temporal dynamics of environmental vulnerability of the Cantareira System: the case of two sub-basins forming Jaguari-Jacareí Watershed. 2012. 154p. Dissertation (Mastering). Engeneering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2012.

The reality of most water fountainheads supplying metropolitan areas is closely connected to the processes of usage and occupation of their surroundings, both related to the urban expansion and rapid spread of lots and manufacturing centers implemented while lacking proper infrastructure and thus, detrimentally interfering in the quality and quantity of water resources. In this scenario, studies related to the environmental vulnerability are essential to the comprehension of the appropriation and direct degradation, as well as the planning and management of the use of water resources. The aforementioned is outright reference to the Cantareira System, the primary source of water for almost 10 million people – half the population – living in São Paulo's metropolitan area and also responsible for the regulation of the water flow to Campinas' metropolitan area. This system has been victimized by a growing process of usage and occupation, which interferes with the environment and gradually generates adverse socio-environmental impacts. On these grounds, this paper aims at the analysis of physical and biotic aspects of use and occupation of the soil of two sub-basins part of the river basin that constitutes the Jaguari-Jacareí watershed in the Cantareira System as a guide to understanding the temporal dynamics of the environmental vulnerability to which this spring has been exposed starting from the year 2000 and interpreted through a conceptual model in which exposure, sensibility and resilience factors are related. On account of those efforts, punctual differences have been identified in the sub-basins regarding their exposure and susceptibility, resulting in quite vulnerable watersheds during the decade the analysis has been performed. Those high indexes of endangerment occurred, in Jaguari sub-basin, as a result of the urbanizing processes growth and, in Jacareí sub-basin, due to the increasing exposition to agricultural uses and its significant environmental fragility. In addition to the contribution to the understanding of the temporal dynamics of the environmental vulnerability in this particular case, this study seeks to propose a model for the analysis and synthesis of the vulnerability for hydric systems.

Keywords: environmental vulnerability; environmental planning and management; water resources; Cantareira System

Lista de Quadros

Quadro 1 - Diferentes abordagens em pesquisas sobre vulnerabilidade.....	24
Quadro 2 - Base de dados secundários que compuseram o banco de dados inicial.	37
Quadro 3 - Características das sub-bacias (área de estudo).....	38
Quadro 4 - Principais pressões antrópicas e seus impactos nos sistemas ambientais. .	46
Quadro 5 - Classes de uso e ocupação do solo.	50
Quadro 6 - Matriz de variação dos usos e ocupação do solo – usos rurais.....	52
Quadro 7 - Matriz de variação dos usos e ocupação do solo – usos urbanos.....	52
Quadro 8 - Matriz de interação entre os tipos de solos e a declividade das sub-bacias Jaguari e Jacareí, resultando na análise da suscetibilidade à erosão.	73
Quadro 9 - Matriz de interação entre suscetibilidade à erosão e variação da cobertura vegetal, resultando na análise da fragilidade ambiental das sub-bacias Jacareí e Jaguari	73
Quadro 10 - Matriz de interação entre a variação dos usos e ocupação do solo com a fragilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacareí, resultando na vulnerabilidade ambiental.....	100
Quadro 11 - Inventário do aterro de resíduos sólidos do município de Vargem	110
Quadro 12 - Inventário do aterro de resíduos sólidos do município de Joanópolis.....	110
Quadro 13 - Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Vargem	113
Quadro 14 - Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Extrema	113
Quadro 15 - Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Joanópolis.	114
Quadro 16 - Instrumentos de política urbana nos municípios de Extrema, Vargem e Joanópolis	115
Quadro 17 - Pontos de monitoramento dos corpos hídricos nas sub-bacias Jaguari e Jacareí	121

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Usos e ocupação do solo nas sub-bacias Jaguari e Jacareí	53
Tabela 2 - Variação dos usos rurais nas sub-bacias analisadas	65
Tabela 3 - Variação dos usos urbanos nas sub-bacias analisadas	67
Tabela 4 - Declividade das sub-bacias Jaguari e Jacareí	80
Tabela 5 - Suscetibilidade à erosão das sub-bacias Jacareí e Jaguari.....	83
Tabela 6 - Variação da vegetação das áreas de estudo.....	90
Tabela 7 - Fragilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacareí	95
Tabela 8 - Vulnerabilidade ambiental nas sub-bacias Jaguari e Jacareí	105
Tabela 9 - Vulnerabilidade ambiental nas porções paulista e mineira da sub-bacia Jaguari.....	106

Lista de Figuras

Figura 1 - Elementos que compõe a vulnerabilidade.....	30
Figura 2 - Fluxograma do modelo de análise aplicado as sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí.....	34
Figura 3 - Localização do Sistema Cantareira, com destaque (em vermelho) para as áreas de estudo desta pesquisa.....	39
Figura 4 - Esquema representativo das represas do Sistema Cantareira.....	40
Figura 5 - Parte da sub-bacia Jaguari, vista do alto da Serra do Lopo.....	41
Figura 6 - Vista da Serra do Lopo.....	42
Figura 7 - Serra do Lopo.....	42
Figura 8 - Mapa base da Sub-bacia Hidrográfica Jaguari.....	43
Figura 9 - Parte da sub-bacia Jacareí, vista do alto da Serra do Lopo.....	44
Figura 10 - Mapa base da Sub-bacia Hidrográfica Jacareí.....	45
Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	54
Figura 12 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	55
Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	56
Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	57
Figura 15 - Pastagem com gado no município de Vargem/SP.....	58
Figura 16 - Pasto sujo na sub-bacia Jacareí.....	58
Figura 17 - Agricultura no município de Vargem/SP (Sub-bacia Jaguari).....	58
Figura 18 - Agricultura na sub-bacia Jacareí.....	58
Figura 19 - Silvicultura no município de Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari).....	59
Figura 20 - Silvicultura na sub-bacia Jacareí.....	59
Figura 21 - Parte da área urbana do município de Extrema/MG, que encontra-se na sub-bacia Jaguari.....	59
Figura 22 - Área urbana do município de Joanópolis/SP, que encontra-se na sub-bacia Jacareí.....	59
Figura 23 - Mapa de variação dos usos rurais da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	61

Figura 24 - Mapa de variação dos usos urbanos da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	62
Figura 25 - Mapa de variação dos usos rurais da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	63
Figura 26 - Mapa de variação dos usos urbanos da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	64
Figura 27 - Urbanização no pé da Serra do Lopo - município de Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari).....	68
Figura 28 - Área de expansão urbana e industrial em Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari).....	68
Figura 29 - Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	75
Figura 30 - Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	76
Figura 31 - Relevo encontrado em grande parte da região onde as sub-bacias estão inseridas.....	77
Figura 32 - Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	78
Figura 33 - Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	79
Figura 34 - Mapa de suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	81
Figura 35 - Mapa de suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	82
Figura 36 - Mapa da cobertura vegetal no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	84
Figura 37 - Mapa da cobertura vegetal no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	85
Figura 38 - Mapa de variação da cobertura vegetal entre os anos de 2000 e 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	86
Figura 39 - Mapa da cobertura vegetal no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	87
Figura 40 - Mapa da cobertura vegetal no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	88
Figura 41 - Mapa de variação da cobertura vegetal entre os anos de 2000 e 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	89
Figura 42 - Mapa da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	91
Figura 43 - Mapa da fragilidade ambiental do entorno dos rios da sub-bacia hidrográfica Jaguari.....	92
Figura 44 - Mapa da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	93

Figura 45 - Mapa da fragilidade ambiental do entorno dos rios da sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	94
Figura 46 - A variação da função de um sistema natural quanto às estabilidades.....	98
Figura 47 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia Jaguari.....	101
Figura 48 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do entorno dos corpos hídricos da sub-bacia Jaguari.....	102
Figura 49 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia Jacareí.....	103
Figura 50 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do entorno dos corpos hídricos da sub-bacia Jacareí.....	104
Figura 51 - Área de Proteção Ambiental Fernão Dias.....	116
Figura 52 - Áreas de Proteção Ambiental Piracicaba – Juqueri-Mirim Área II e do Sistema Cantareira.....	117
Figura 53 - Mapas de localização dos pontos de monitoramentos dos corpos hídricos nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí.....	122
Figura 54 - Mapas do enquadramento dos corpos hídricos nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí.....	124

Lista de abreviaturas e siglas

ANA - Agência Nacional das Águas
APA - Áreas de Proteção Ambiental
APP - Áreas de Preservação Permanente
CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CBH-PCJ - Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
CBH-PJ - Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba e Jaguari
CEI - Centro de Estatísticas e Informações
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
DAIA - Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental
DGI/INPE - Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DEPRN - Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais
DUSM - Departamento de Uso e ocupação do solo Metropolitano
FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente - MG
FECOP - Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição
FEHIDRO - Fundo Estadual de Recursos Hídricos
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF - Instituto Estadual de Florestas - MG
IF - Instituto Florestal
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA - Instituto Socioambiental
MDE - Modelo Digital de Elevação
OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU - Organização das Nações Unidas
PER - Modelo Pressão-Estado-Resposta
PIB Per Capita - Produto Interno Bruto Per Capita
PRMC - Projeto de Recuperação de Matas Ciliares
PSA - Pagamento por Serviços Ambientais

RMSP - Região Metropolitana de São Paulo

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo

SUPRAM - Superintendências Regionais de Regularização Ambiental

UC - Unidade de Conservação

UGRHI - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Sumário

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Estrutura da dissertação	20
2. OBJETIVOS	22
2.1. Objetivo Geral.....	22
2.2. Objetivos Específicos	22
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	23
3.1. Relações entre vulnerabilidade ambiental e resiliência.....	23
3.2. Vulnerabilidade ambiental e processos de planejamento e gestão.....	26
3.3. Modelo conceitual de vulnerabilidade ambiental e suas aplicações	27
4. MÉTODO.....	33
4.1. Modelo de análise e síntese da vulnerabilidade ambiental	33
4.2. Universo empírico de dados e informações.....	35
4.3. Área de estudo	37
4.3.1. Sub-bacia hidrográfica Jaguari	41
4.3.2. Sub-bacia hidrográfica Jacareí.....	44
5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COMO FATORES DE EXPOSIÇÃO	46
5.1. Procedimentos metodológicos específicos	48
5.2. Resultados e discussão.....	53
6. COBERTURA VEGETAL COMO FATOR SENSIBILIDADE.....	70
6.1. Procedimentos metodológicos específicos	72
6.2. Resultados e discussão.....	74
7. VULNERABILIDADE AMBIENTAL E MECANISMOS DE RESILIÊNCIA	97
7.1. Dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental.....	99
7.1.1. Procedimentos metodológicos específicos	99
7.1.2. Resultados e discussão	100
7.2. Mecanismos de gestão como fatores de resiliência.....	106
7.2.1. Procedimentos metodológicos específicos	107
7.2.2. Resultados e discussão	109
8. CONCLUSÕES	128
9. REFERÊNCIAS	130

1. INTRODUÇÃO

As preocupações da sociedade em compatibilizar a garantia da adequada qualidade ambiental com crescimento econômico tem aumentado nos últimos anos. Porém, na prática, a problemática ambiental relacionada à utilização e ao esgotamento dos recursos naturais, na maioria das vezes, ainda é tratada de forma de maneira isolada de outras dimensões, como a econômica, a social e a cultural, tornando cada vez mais insustentáveis as relações entre sociedade e ambiente.

Como forma de entender essas relações existentes entre o sistema natural (ambiental) e o humano, Haes & Klijn (1992) retratam que o ambiente é todo o meio físico, sendo composto por elementos abióticos e bióticos, onde o ser humano é considerado um componente biótico e que suas próprias ações causam problemas ambientais para todo o ecossistema em que ele está inserido. Estes autores acreditam que existem dois sistemas interligados e que interagem a todo momento, sendo um o sistema físico – ecossistema em geral - e o sistema social, que é o sistema composto pelos componentes psicológico, social e cultural, remetendo às ansiedades, motivações e ações realizadas que, como consequência, mudam as características do sistema físico.

Essas interações e dependências físicas e/ou sociais acabam colocando o ecossistema e seus recursos naturais como elementos centrais de uma cadeia de causa e efeito, onde processos no sistema social interferem nas características do sistema físico, relacionando o ecossistema de duas maneiras diferentes com a sociedade. Por um lado, as ações realizadas pelo ser humano influenciam diretamente as características do ecossistema. Por outro, o ecossistema muda a concepção dessa sociedade sobre seus valores e funções, com relação às diversas maneiras de apropriação e de utilização do sistema físico (HAES & KLIJN, 1992).

As preocupações em torno das interações existentes entre os sistemas ambientais e humanos são justificáveis pelo fato de que, ao longo de toda a história da humanidade, os modelos de apropriação dos recursos naturais, decorrentes das demandas industriais e agrícolas e devido à expansão e ao crescimento da população e das áreas urbanas, resultaram em uma multiplicidade de impactos de diversas escalas e magnitudes, gerando escassez de recursos (TUNDISI, 2005).

Na antiguidade, a formação de sociedades organizadas e o desenvolvimento de suas formas de subsistência sempre estiveram associados aos recursos hídricos. E também a sua ascensão e queda estavam intimamente ligadas ao uso e abuso deste

recurso, causando sérios problemas e intervenções no ciclo hidrológico. Civilizações como as que ocorreram no antigo Egito, China, Índia e Mesopotâmia, que eram chamadas de civilizações hidráulicas, foram exemplos típicos de dependência e interferência no recurso hídrico (DREW, 2005).

A degradação dos recursos naturais, especialmente dos recursos hídricos, tornou-se um dos principais problemas sociais, econômicos e ambientais enfrentados pela população mundial, especialmente pelas populações de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Há existência de planejamentos inadequados à gestão dos recursos hídricos e a insuficiência na execução das políticas públicas, juntamente com o crescimento da população e com o uso excessivo de recursos por processos produtivos (agrícolas e industriais), são responsáveis, em sua maioria, pelo agravamento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos e consequentemente da qualidade de vida das populações (TUNDISI, 2005).

O recurso hídrico é merecedor de destaque devido sua importância social, biológica, ecológica, econômica e cultural, como aquele atribuído pela Organização das Nações Unidas (ONU) através da instituição da “Declaração Universal dos Direitos da Água”, em 1992 - durante a segunda Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92). Em seus 10 artigos, este documento procurou conscientizar e elaborar medidas quanto à importância do recurso hídrico para todos os seres vivos, de maneira a auxiliar na sua gestão (JOHN & MARCONDES, 2010).

Anos mais tarde, o Brasil sancionou a Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997), sendo este um marco na gestão e conservação deste recurso no país. Esta política tem como preceito básico manter a disponibilidade hídrica (em qualidade e quantidade) à atual e às futuras gerações, sustentando padrões básicos de qualidade. Outro ponto de destaque é a colocação que a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e que sua gestão deve ser descentralizada e compartilhada com toda a sociedade.

Neste contexto, cabe ressaltar que todas as políticas, diretrizes e leis relacionadas aos recursos hídricos realçam a importância deste recurso e a preocupação com relação aos fatores e processos que o envolve, pelo motivo de que cerca de 80% dos sistemas hídricos estão alterados de forma significativa, sendo que estas alterações tornam cada vez mais estes sistemas naturais instáveis, afetando todos os setores da economia e a todos os segmentos da sociedade (WWF, 2005; BNF, 2012).

Esta instabilidade resulta no aumento da vulnerabilidade do ambiente e principalmente dos recursos hídricos, gerando situações de ameaças e riscos que

tendem a ficar mais intensas e frequentes devido a essas pressões (ALVES, 2006; NETTO & AVELAR, 2007).

Neste sentido, Santos & Caldeyro (2007, p.18) ressaltam que

Quando provocamos uma perturbação, a resposta do meio pode ser bastante diferente em função das características locais naturais e humanas, ou seja, cada fração de território tem uma condição intrínseca que, em interação com o tipo e magnitude do evento que induzimos, resulta numa grandeza de efeitos adversos. A essa condição chamamos de vulnerabilidade [...] onde para entendê-la, devemos considerar a persistência, que é a medida do quanto um sistema, quando perturbado, se afasta do seu equilíbrio ou estabilidade sem mudar essencialmente seu estado e a resiliência, ou seja, a capacidade de um sistema retornar a seu estado de equilíbrio, após sofrer um distúrbio.

Desta forma, é de extrema importância entender o gradiente de variação da vulnerabilidade ambiental em localidades que sofrem perturbações decorrentes de intervenções humanas, onde este torna-se essencial no direcionamento de esforços de gestão para a conservação dos recursos naturais e para o fornecimento e criação de resiliência nos sistemas envolvidos, além da contribuição a ser ofertada em ações de incentivo a diminuição dos riscos sobre a vulnerabilidade ambiental de territórios já dotados de baixa resiliência.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), considerada o maior aglomerado urbano do país e um dos maiores centros econômicos do mundo, a situação não é diferente, pois fontes pontuais e não pontuais de poluição e um acréscimo da demanda hídrica aumentam a vulnerabilidade e diminuem a resiliência dos mananciais que abastecem esta região, afetando drasticamente todos os serviços ambientais prestados por estes sistemas ambientais (TUNDISI, 2008). Esta problemática é aumentada pelo fato da RMSP apresentar baixa disponibilidade hídrica por habitante, onde 48,04% da população de todo o Estado se concentram em uma região de cabeceira que representa cerca 3% do total do território do Estado de São Paulo (BALTRUSIS & D'OTTAVIANO, 2009).

Neste contexto, para abastecer a RMSP é realizada a importação de água de quatro principais mananciais (Reservatório da Guarapiranga, Reservatório da Billings, Sistema Alto Tietê e Sistema Cantareira), sendo o Sistema Cantareira considerado um dos maiores mananciais de abastecimento do mundo (WHATLEY & CUNHA, 2007; SABESP, 2010). Todos os quatro apresentam intensos processos de urbanização e industrialização, que são estimulados pelo próprio crescimento da RMSP, e por políticas

que estimulam a proliferação de loteamentos e centros industriais, que na maioria das vezes são implantados sem uma adequada infraestrutura, comprometendo a sua disponibilidade hídrica (HOEFFEL, 2006).

Ainda assim, é apropriado assumir que, de modo geral, os sistemas hídricos voltados ao abastecimento urbano estejam progressivamente cada vez mais vulneráveis ambientalmente, sobretudo em função da dinâmica de uso e ocupação, como é o caso do sistema Cantareira e do sistema Billings-Garapiranga. Sendo importante analisar quais são os fatores que têm levado a este aumento, os quais podem variar dentro de um mesmo sistema em função de dinâmicas rurais, urbanas e de características político-institucionais.

Embora o escopo de investigação do presente trabalho não esteja focado diretamente nestas dimensões, procurou-se analisar as dinâmicas no uso e ocupação e as fragilidades ambientais dos territórios das duas sub-bacias como uma forma de verificar indiretamente se as vulnerabilidades ambientais das sub-bacias têm sido condicionadas temporalmente por dinâmicas urbanas e rurais diferentes. A importância desta abordagem reside na seguinte lógica: o fato de haver diferenças nas dinâmicas da vulnerabilidades ambientais entre as sub-bacias dentro de um mesmo sistema hídrico de abastecimento metropolitano condiciona a necessidade de diferentes estratégias de planejamento e gestão ambiental.

Diante desta realidade, este trabalho assumiu o emprego de um modelo de análise e síntese para verificar qual a dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental dessas sub-bacias. O conceito de vulnerabilidade é assumido como forma de suprir os atuais diagnósticos ambientais que normalmente apresentam-se de forma reducionista, não permitindo uma visão orientada aos problemas do funcionamento geral de um sistema ambiental.

Deste modo, justifica-se ter como questionamento central no presente trabalho, a seguinte pergunta: “Como tem variado a dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental das sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, formadoras do Reservatório Jaguari-Jacareí, pertencentes ao Sistema Cantareira, face aos fatores de exposição e sensibilidade ambiental?”. A partir deste quadro temporal da vulnerabilidade ambiental, o trabalho busca evidenciar se há diferenças nas variações da vulnerabilidade ambiental entre as bacias hidrográficas e o que eventualmente explica tais diferenças.

1.1. Estrutura da Dissertação

A estruturação deste trabalho se deu a partir de cinco seções, sendo a primeira que é esta introdução, que traz a temática que irá ser retratada e também os objetivos, que foram os responsáveis por nortear este trabalho.

A segunda seção apresenta o referencial teórico geral da pesquisa, com os principais conceitos que permeiam a temática da vulnerabilidade ambiental e o modelo análise da vulnerabilidade utilizado como base conceitual por esta pesquisa.

Na terceira seção encontra-se o método utilizado neste trabalho, sendo o modelo de análise e síntese desenvolvido para o entendimento da vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas. Nesta seção também encontra-se a apresentação das áreas de estudo.

A quarta seção é dividida em três capítulos, sendo que cada um deles retrata um fator que compõe a vulnerabilidade. Cada capítulo se inicia com um pequeno referencial teórico, trazendo conceitos de modo a colaborar no entendimento da escolha de tais elementos como fator da vulnerabilidade. Além também, de conter os procedimentos metodológicos e os resultados específicos deste fator.

E como finalização deste trabalho se deu a quinta seção, que nela se encontram as conclusões desta pesquisa, advindas dos resultados e de suas discussões presentes na quarta seção.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Evidenciar a dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do Sistema Cantareira, a partir da análise de sub-bacias hidrográficas formadoras do Reservatório Jaguari-Jacareí durante os anos de 2000 a 2010.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar os fatores de exposição relacionados aos usos e ocupação do solo que contribuem para o aumento da vulnerabilidade ambiental nas sub-bacias;
- Analisar a fragilidade ambiental das sub-bacias, com foco especial na variação temporal da cobertura vegetal;
- Verificar se há diferenças na dinâmica da vulnerabilidade ambiental entre as sub-bacias e, eventualmente, identificar a existência de fatores de resiliência que justificam tais diferenças.
- Propor um modelo de análise e síntese da variação temporal da vulnerabilidade ambiental em sistemas hídricos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Relações entre vulnerabilidade ambiental e resiliência

Os debates acerca da vulnerabilidade surgiram em diferentes épocas e linhas de pensamentos, onde inicialmente eram retratados em seus estudos as variáveis biofísicas e de risco/perigo, estruturas político-ecológicas e/ou político-econômicas e, mais recentemente, houve a inserção do conceito ecológico de resiliência em estudos relacionados a sistemas sócio-ambientais (EAKIN & LUERS, 2006).

A partir de uma revisão sobre o tema, Adger (2006) demonstra a existência de concepções divergentes de vulnerabilidade devido a diferentes objetivos e posições epistemológicas de tradições de pesquisa (Quadro 1). Essas diferentes concepções demonstram que os diferentes conceitos de vulnerabilidade se dão pelo motivo de que os mais diversos campos disciplinares se apropriaram do termo de maneira a suprir suas necessidades, fazendo dos antecessores a base conceitual para modelos mais atuais e robustos de análise da vulnerabilidade.

Desta forma, é importante pontuar alguns diferentes conceitos dados à vulnerabilidade, embora na literatura em geral o termo seja retratado como um conjunto de fatores estressores, podendo ser físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a susceptibilidade de impactos e o risco em sistemas (KUMPULAINEN, 2006).

Nas palavras de Moser¹ (1998) *apud* Alves (2006), a vulnerabilidade pode ser definida como uma situação estressora na qual geralmente estão presentes elementos de exposição, incapacidade de reação a esta situação e dificuldade de adaptação diante desse estresse. Já Eakin & Luers (2006), destacam que a vulnerabilidade não é um resultado, ou até mesmo um produto de uma ação, mas sim um estado ou condição em que o sistema se encontra momentaneamente.

Para Costa *et al.* (2007) os estudos de vulnerabilidade são importantes no sentido de estabelecer áreas, sistemas ou grupos populacionais mais suscetíveis à riscos e perigos, tendo como princípio analisar e avaliar as pressões internas e externas e também as relações existentes, de maneira a entender como estas afetam a resiliência do objeto de estudo. Estes estudos colaboram com a formação de cenários reais e

¹ MOSER, C. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. **World Development**, New York, v.26, n.1, 1998.

também com uma melhor orientação da realidade nos processos de tomada de decisão (TURNER *et al.*, 2003a).

Quadro 1 – Diferentes abordagens em pesquisas sobre vulnerabilidade.

Abordagem	Objetivos	Fontes
Vulnerabilidade a fome e a insegurança alimentar	Explicar a vulnerabilidade a fome devido a de escassez de alimentos.	Sen (1981); Swift (1989); Watts and Bohle (1993)
Vulnerabilidade aos riscos	Identificar e prever os grupos vulneráveis, as regiões críticas através da probabilidade e consequência de perigo. Aplicar em impactos das mudanças climáticas.	Burton et al. (1978, 1993); Smith (1996); Anderson and Woodrow (1998); Parry and Carter (1994)
Ecologia humana	Analisar estruturalmente as causas subjacentes da vulnerabilidade a desastres naturais.	Hewitt (1983); O'Keefe et al. (1976); Mustafa (1998)
Pressão e estado	Entender a relação entre a ecologia, o ser humano e a economia. Gerenciando desastres e intervenções.	Blaikie et al. (1994); Winchester (1992); Pelling (2003)
Vulnerabilidade às mudanças climáticas	Explicar a vulnerabilidade dos sistemas sociais, físicos e ecológicos para os riscos futuros, utilizando ampla gama de métodos e tradições de pesquisa.	Klein and Nicholls (1999); Smit and Pilifosova (2001); Smith et al. (2001); Ford and Smit (2004); O'Brien et al. (2004)
Meios de vida sustentáveis e vulnerabilidade a pobreza	Explicar porque as populações se tornam pobres - com base na análise de fatores econômicos e sociais.	Morduch (1994); Bebbington (1999); Ellis (2000); Dercon (2004); Ligon and Schechter (2003); Dercon and Krishnan (2000)
Vulnerabilidade dos sistemas sócio-ecológicos	Explicar a vulnerabilidade de sistemas sócio-ecológicos e as relações e interações existentes sob uma concepção sistêmica.	Turner et al. (2003); Luers et al. (2003); Luers (2005); O'Brien et al. (2004)

Fonte: Adger (2006)

Atualmente o termo vulnerabilidade tem sido amplamente discutido e empregado de diversas formas. Deschamps (2004) aponta que, em âmbito científico, a noção de vulnerabilidade vem sendo utilizada em distintos campos disciplinares, tornando uma ferramenta de extrema importância quando se deseja analisar a realidade local. Neste contexto, cada vez mais, grupos acadêmicos e entidades governamentais e não-governamentais incorporam a noção de vulnerabilidade em seus estudos e atividades, se apropriando do termo de forma a fazer surgir especificidades decorrentes das áreas onde a vulnerabilidade é retratada (EAKIN & LUERS, 2006).

Na economia, por exemplo, o termo é vinculado ao desempenho macroeconômico diante de "choques" externos, como em uma crise econômica mundial (DESCHAMPS,

2004). Já a geografia retrata que no início a vulnerabilidade era somente relacionada aos desastres naturais e a avaliação de risco, mas preocupações mais recentes acabaram incluindo este termo em ocasiões onde populações se encontram em situações de risco, como enchentes, deslizamentos, secas, enxurradas, entre outras circunstâncias em que o ambiente, associado a fatores sociais, econômicos, ambientais e culturais, acabam expondo as populações a esses fatores estressores (MARANDOLA & HOGAN, 2005; ALVES, 2006).

Outras linhas de análise sobre vulnerabilidade são as relacionadas à vulnerabilidade social e a vulnerabilidade ambiental, sendo que estas atualmente recebem lugar de destaque em discussões nacionais e internacionais, devido ao aumento dos problemas sociais e ambientais (FERREIRA, 2007; ALVES, 2006).

Autores como Kaztman *et al.* (1999), Pizarro (2001) e Moser¹ (1998) *apud* ALVES (2006) colocam que a base da vulnerabilidade social está centrada na população e nas situações que estas se encontram. A vulnerabilidade social retrata predominantemente em sua base grupos socialmente vulneráveis, por estes apresentarem menor capacidade de resposta positiva mediante a um fator de estresse e/ou de risco (DESCHAMPS, 2004).

Já a vulnerabilidade ambiental, de forma simplificada, discute situações de degradação ambiental, que trazem risco ao ambiente, podendo ser ocasionadas por fatores humanos ou até mesmo naturais (ALVES, 2006). Neste sentido, Williams & Kaputska (2000) entendem que a vulnerabilidade ambiental é a potencialidade de um ecossistema em modular suas respostas frente a ações estressoras, levando em consideração a frequência, intensidade e dimensão desses estresses, podendo também ser vista como um ímpeto à degradação dos recursos naturais e de todo o ambiente.

Desta forma, a vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o potencial que um sistema ecológico possui para modular suas respostas frente a fatores estressores ao longo do tempo e do espaço, sendo determinada por características ecossistêmicas que podem incluir muitos níveis de organização, como o solo, a biorregião, uma espécie, um organismo (WILLIAMS e KAPUTSKA, 2000). A partir desta visão, podem ser estabelecidas as áreas mais suscetíveis à determinada ação (COSTA *et al.*, 2007), o que representa um cenário essencial para a tomada de decisão acerca do uso dos recursos naturais ali existentes.

Mais especificadamente, a vulnerabilidade ambiental tem como preceitos o estudo do todo, que além da dimensão ambiental, insere as dimensões sociais, econômicas e políticas, contemplando a análise da interação dos seres humanos com o ambiente

(recursos naturais). Essa interação, por sua vez, é caracterizada como uma função de três fatores que se interagem a todo o momento, sendo estes: fator de exposição, de sensibilidade e resiliência (TURNER et. al, 2003a).

Quando se analisa a vulnerabilidade ambiental de um sistema, percebe-se que a interação entre a própria vulnerabilidade e os fatores de resiliência são de extrema importância, pois estes são considerados por Villa & Mcleod (2002), como os fatores responsáveis por manter a estrutura e a estabilidade do sistema na presença do fator estressor. A vulnerabilidade e a resiliência constituem enquadramentos diferentes, mas complementares, sendo que o primeiro visa identificar as partes mais frágeis (os mais afetados negativamente) de sistemas acoplados aos distúrbios, e o último, as características sistêmicas que torna os sistemas mais robustos a perturbações (TURNER, 2010).

Cabe ressaltar, que a inserção do conceito ecológico de resiliência nos estudos de vulnerabilidade ambiental é relativamente nova, incorporando-se uma visão holística ou sistêmica do ambiente nesses estudos. Este novo conceito contribuiu para uma melhor avaliação e compreensão da vulnerabilidade, não considerando somente as interações relacionadas aos recursos naturais, mas também interações em escalas mais amplas, compreendendo relações mais complexas como a que ocorre entre seres humanos - ambiente (recursos naturais) e os usos múltiplos dos recursos que interferem na qualidade do sistema (EAKIN & LUERS, 2006).

Por fim, é possível verificar que os estudos sobre o conceito de vulnerabilidade ambiental e de sua aplicação começam a convergir para uma consolidação, corroborando com práticas de planejamento e gestão que buscam reduzir a vulnerabilidade em sistemas naturais e não-naturais, sugerindo inclusive que os estudos de vulnerabilidade em um futuro próximo poderão auxiliar nas previsões das incertezas socioeconômicas e ambientais, adquirindo, assim, uma maior relevância e utilidade nas tomadas de decisões (EAKIN & LUERS, 2006).

3.2. Vulnerabilidade ambiental e processos de planejamento e gestão

O planejamento e a gestão ambiental trazem em seus princípios mecanismos que visam à reorientação e a organização das relações existentes entre a sociedade e a natureza (recursos naturais), buscando regular o funcionamento do sistema econômico em função da oportunidade e da necessidade de conservação ambiental.

Desta forma, estes instrumentos têm como base verificar e adequar as ações à localidade, buscando entender quais são as melhores atividades a serem desenvolvidas

em determinados locais, levando-se em conta características físicas, biológicas e sociais da localidade, preconizando um desenvolvimento harmônico da região e a definição de políticas públicas que auxiliem na tomada de decisão (SANTOS, 2004). Tornando-se assim, prioritária a obtenção de dados e informações que representem a realidade, revelando quais são os aspectos que devem ser considerados em todo o processo de planejamento e gestão.

Neste contexto, Costa et al. (2007) descrevem que os estudos de vulnerabilidade são importantes no estabelecimento de áreas mais suscetíveis à determinada ação e de cenários reais da localidade, possibilitando obter um diagnóstico, inserindo-os nos zoneamentos em um processo de planejamento ambiental. Assim, esses estudos acabam se tornando imprescindíveis no sentido de haver futuras medidas de controle preventivo do uso ou até mesmo dando suporte na avaliação e monitoramento (BARBOSA & LORANDI, 2009).

O conceito de vulnerabilidade ambiental pode ser empregado como mecanismo de integração sistêmica de informações em diagnósticos, onde esta abordagem busca o entendimento de todo o sistema, principalmente de suas estruturas, funcionamento e das relações e interações existentes. Para Christofolletti (2004) a compreensão holística e sistêmica do sistema parte inicialmente do entendimento de sua totalidade e complexidade, sendo estas compostas por várias unidades que se relacionam, trocando matéria e energia entre si.

A utilização de uma abordagem sistêmica da vulnerabilidade ambiental em planejamentos e na gestão de localidades torna-se um instrumento de extrema importância no entendimento da totalidade de suas funções e relações, orientando de melhor forma os processos de tomada de decisão, que na maioria das vezes são pautados por exaustivos inventários de dados e informação, elaborados normalmente por abordagens reducionistas, apresentados pelos diagnósticos ambientais (MORETTO et. al., no prelo).

Spörl & Ross (2004) partem desta mesma ideia e descrevem que a análise da vulnerabilidade ambiental é uma importante ferramenta ao planejamento ambiental, pois faz com que a identificação das fragilidades atuais e potenciais proporcione uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço, servindo de base para as fases de inventário e diagnóstico que compõe o zoneamento, auxiliando na gestão e nos processos decisórios a cerca da localidade.

3.3. Modelo conceitual de vulnerabilidade ambiental e suas aplicações

Nas últimas décadas uma grande variedade de modelos conceituais surgiu para abordar a vulnerabilidade dos sistemas humanos e ecológicos a perturbações, choques e tensões (KASPERSON, et. al., 2005). Desta maneira, esta pesquisa procurou adotar um modelo conceitual para a análise da vulnerabilidade que melhor interpretasse as relações existentes no sistema em questão (sub-bacias hidrográficas) e que também conseguisse transpor toda a estrutura conceitual para a prática observada nas áreas de estudo.

O modelo de análise da vulnerabilidade utilizado como base conceitual neste trabalho é o desenvolvido por Turner e seus colaboradores (2003a). Para Adger (2006) este modelo procura demonstrar a vulnerabilidade como uma propriedade dos sistemas sócio-ambientais, representando todos os mecanismos e processos existentes de forma acoplada. Sendo que a utilização deste traz um avanço na análise da vulnerabilidade, uma vez que ao invés de focar nos resultados múltiplos de um único estresse físico, esta abordagem analisa de forma sistêmica os diversos elementos da vulnerabilidade de um sistema limitado e em uma escala espacial específica (ADGER, 2006).

Luthe (2009) ressalta que este modelo é ideal para quando se quer considerar todo o sistema na análise da vulnerabilidade, provendo o entendimento de uma ampla classe de componentes e das interrelações existentes. Este autor também pontua que os criadores deste modelo desenvolveram um arquétipo adequado para uma análise sistêmica.

O caráter sistêmico deste modelo é evidenciado por estes autores, pelo fato que este modelo demonstra os componentes da vulnerabilidade, as interações e relações existentes entre eles. Assim, para Turner et. al. (2003a), a vulnerabilidade é composta por três grandes dimensões, que estão em interação a todo o momento, sendo:

- Exposição: são as pressões, perturbações e choques gerados pelas forças motrizes (ação humana), às quais a vulnerabilidade responde. Também pode-se incluir nesta dimensão os fatores responsáveis por induzir um aumento de pressão no ambiente.
- Sensibilidade: condições e características do sistema, sendo até mesmo a capacidade do sistema em lidar com a exposição / pressão.
- Resiliência: fatores que auxiliam na adoção de ações que procuram mitigar ou reduzir possíveis efeitos das pressões exercidas ou até mesmo procuram aumentar a qualidade ambiental das localidades. São consideradas as respostas naturais e humanas aos impactos, no sentido de restabelecimento do padrão anterior (ou próximo deste) de equilíbrio dinâmico do ambiente. Os fatores de regulação, como leis, programas,

políticas e etc, são considerados respostas humanas aos impactos, pois por meio de sua aplicação acabam regulando os fatores que geram estes estresses e consequentemente diminuem a vulnerabilidade do sistema em questão. Já como respostas naturais, são considerados os processos de regeneração, recomposição natural, entre outros, onde o sistema, por si só, consegue restabelecer o seu próprio equilíbrio (TURNER et. al., 2003a)

A Figura 1 demonstra o modelo em questão e as relações entre as dimensões que estão inseridas na análise da vulnerabilidade, como por exemplo, os fatores presentes na exposição que interagem a todo o momento com a sensibilidade, pois a presença de um altera consequentemente o outro. E esta interação gera respostas naturais e/ou humanas que são os fatores de resiliência do sistema, que por sua vez regulam a pressão dos fatores de exposição nos fatores de sensibilidade, amenizando os impactos causados, a interferência no meio e por consequência, diminuindo a vulnerabilidade do sistema (TURNER et. al., 2003a)

Segundo Smit e Wandel (2006), os fatores de exposição, sensibilidade e resiliência estão inseridos na análise da vulnerabilidade de maneira a determinar as dinâmicas que ocorrem em sistemas sócio-ambientais, colaborando no entendimento de que estes fatores são dependentes entre si, como por exemplo, os fatores de exposição e de sensibilidade que estão em interação constantemente, mas podendo ocorrer em diferentes épocas.

Figura 1 - Elementos que compõe a vulnerabilidade. Fonte: Turner et. al. (2003a).

É importante ressaltar que o modelo desenvolvido por Turner et. al. (2003a) apresenta semelhanças com o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) no ano de 1993. O modelo PER tem como base análises da sustentabilidade pautada em três tipos principais de indicadores ambientais, sendo eles: indicadores de pressão, estado e resposta.

A definição dada a estes indicadores muito se assemelha com a utilizada pelo modelo de vulnerabilidade, onde os indicadores de pressão do modelo PER correspondem aos fatores de exposição na análise da vulnerabilidade, os indicadores de estado aos fatores de sensibilidade e já os indicadores de resposta, são aqui, relacionados aos fatores de resiliência, sendo este ponto a principal semelhança entre os dois modelos, causando algumas confusões e questionamentos quanto à utilização de um ou de outro. A estrutura funcional, a ciência disciplinar a que responde e os objetivos para que estes modelos sejam empregados, são as grandes diferenças existentes entre eles.

O modelo PER foi criado com o intuito de fornecer mecanismos para a análise da sustentabilidade através da utilização de indicadores ambientais globais, sob a perspectiva de monitoramento do progresso ambiental (VAN BELLEN, 2005). Este modelo demonstra em suas análises as relações de causa e efeito, como forma de demonstrar os efeitos das atividades humanas sobre os recursos naturais (meio ambiente), colocando em pauta em suas análises a avaliação do desenvolvimento sustentável (OCDE, 2003). Já o modelo proposto por Turner et. al. (2003a) tem como preceitos a análise da vulnerabilidade em diferentes temas e escalas espaciais, sempre abordando as relações existentes nos sistemas sócio-ambientais. Sua utilização é em torno de uma concepção sistêmica, visando identificar as partes mais frágeis (os mais afetados negativamente) de sistemas acoplados aos distúrbios.

Mesmo estes modelos respondendo a campos disciplinares diferentes, são eles importantes instrumentos de planejamento e gestão, cabendo a cada um melhor compreender e auxiliar os questionamentos de sua ciência disciplinar, trazendo em sua estrutura uma flexibilidade que o permita ser utilizado em uma gama enorme de temas relacionados à sua base conceitual.

Neste contexto, cabe citar alguns exemplos de utilização do modelo desenvolvido por Turner et. al. (2003a), como forma de demonstrar as aplicações em diferentes pesquisas, demonstrando a sua flexibilidade.

- Após sucessivos tsunamis em dezembro de 2004, o governo do Sri Lanka implementou políticas de remoção da população da zona costeira deste país, com a finalidade de resolver e reduzir o risco destas populações de forma imediata. Mas passado algum tempo percebeu-se um aumento dos problemas sociais, econômicos e ambientais que cercavam essas populações mais carentes. Esta constatação fez com que um grupo de estudos aplicasse o modelo de Turner et al. (2003a) para conceituar os componentes da vulnerabilidade neste sistema sócio-ambiental e identificar onde as políticas pós-desastres devem concentrar-se para reduzir a vulnerabilidade das populações costeiras de forma mais eficaz (INGRAM et al., 2006);
- O método Vulneagri, lançado pela Embrapa Agroindústria Tropical, tem em sua base conceitual a análise da vulnerabilidade em bacias hidrográficas pautada pelos fatores de exposição, sensibilidade e resiliência. Este método foi empregado na análise de diferentes abordagens ao estudo da vulnerabilidade ambiental, mostrando que os sistemas ambientais são passíveis de serem utilizados nestes estudos. Esse método foi aplicado na análise da vulnerabilidade em quatro bacias hidrográficas localizadas no Nordeste brasileiro, identificando questões ambientais relativas à agroindústria (EMBRAPA, 2010).
- SkiSustain é um projeto que visou modelar um quadro de vulnerabilidade baseado nos fatores de exposição, sensibilidade e resiliência para o turismo de esqui, frente aos impactos gerados pelas mudanças climáticas globais. A análise foi realizada em quatro países alpinos (França, Itália, Áustria e Suíça) de maneira a entender as relações existentes entre as mudanças globais (eventos extremos decorrentes do aumento das temperaturas), a demanda turística e as estratégias de mitigação dos impactos, buscando a sustentabilidade no turismo de esqui (LUTHE, 2009).
- Luers e seus colaboradores (2003) utilizam o modelo de análise da vulnerabilidade desenvolvido por Turner et al. (2003a) como uma estrutura conceitual para examinar a vulnerabilidade dos sistemas sócio-ambientais em uma determinada região de agricultura no México, investigando a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas em áreas irrigadas através da análise de rendimentos da agricultura.
- Os próprios autores do modelo demonstraram a sua aplicação em um artigo que traz três estudos de caso. Foram escolhidas áreas com as mais diversas características ambientais de modo a avaliar o modelo em diferentes condições e diante de diferentes problemas encontrados, sendo a região tropical peninsular de Yucatán (sudeste do México), o vale de Yaqui (região árida a noroeste do México) e a região ártica (Uummannaq / Groenlândia e Finnmark, no norte da Noruega). Estes exemplos ilustram

o papel das forças externas na reformulação dos sistemas sócio-ambientais e sua vulnerabilidade aos riscos ambientais, bem como o acesso ao capital social e biofísico, para responder às mudanças e perigos (TURNER et. al., 2003b).

Estes diferentes exemplos de aplicação do modelo de análise da vulnerabilidade demonstraram o quão é complexo avaliar a vulnerabilidade de sistemas sócio-ambientais através de um mesmo modelo conceitual. Cabe pontuar, que este modelo é um ponto de partida para a análise da vulnerabilidade, onde por razões práticas e teóricas, devem-se realizar modificações de maneira a simplificá-lo e para atender as necessidades e especificidades de uma determinada aplicação (TURNER et. al. 2003b).

É importante ressaltar, que este modelo direciona as avaliações da vulnerabilidade de maneira a considerar as lacunas na sua compreensão e as diferentes percepções a cerca dos impactos e pressões ao sistema. Orientando os estudos em uma análise integrada, compreendendo as relações existentes entre os componentes internos e externos ao sistema, bem como a complexidade envolvida em alcançar uma avaliação abrangente da vulnerabilidade (TURNER et. al. 2003b).

Adger (2006) relata que este modelo contempla um dos maiores desafios contemporâneo da pesquisa de vulnerabilidade, que é desenvolver medidas robustas e credíveis, a incorporar diversos métodos que consigam avaliar todos os fatores que a compõe e, principalmente os mecanismos de resiliência e governança que intercedem esta temática.

4. MÉTODO

4.1. Modelo de análise e síntese da vulnerabilidade ambiental

Para entender a dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, foi empregado um modelo conceitual de análise e síntese construído a partir das proposições de Turner *et al.* (2003a). Este modelo foi adaptado ao contexto de bacias hidrográficas, fazendo a correlação desta temática com a problemática ambiental apresentada nesses espaços.

Os autores Fadini (2005), Suarez (2005 e 2010), Hoeffel, *et al.* (2008) e Seixas *et. al* (2010) relatam em seus estudos que nos últimos anos a região onde se encontram as sub-bacias hidrográficas em questão, vem apresentando um crescimento das atividades agropecuárias, urbanas, industriais e turísticas, ocasionando uma série de impactos, comprometendo desta forma, a qualidade e a quantidade dos recursos naturais, em especial dos recursos hídricos.

Desta forma, esta pesquisa utilizou na análise da vulnerabilidade apenas fatores presentes na dinâmica local e que interferem de alguma forma na disponibilidade dos recursos hídricos, colocando em destaque a relação existente entre os usos do solo que ali ocorrem com a cobertura vegetal. Essas interferências foram observadas através de estudos já existentes nas localidades, constatando há existência de relação entre os fatores de exposição, sensibilidade e resiliência (Figura 2), que entende-se por:

- *Fatores de exposição:* foram relacionados a este fator os usos e ocupação do solo e suas variações durante a década estudada, devido às pressões que estes componentes antrópicos causam no ambiente.
- *Fatores de sensibilidade:* assume-se aqui como fator de sensibilidade à cobertura vegetal nos anos de 2000 e 2010 e como ela variou nestes anos, com foco nas áreas no entorno (100 metros) dos recursos hídricos.
- *Fatores de resiliência:* sendo a presença e a ausência de mecanismos de gestão relacionados ao uso e ocupação do solo e também aos recursos hídricos, além das normas legais que incidam nestas localidades.

Figura 2 - Fluxograma do modelo de análise aplicado as Sub-bacias Hidrográficas Jaguari e Jacareí. Elaborada por Giovana Dominicci Silva.

Como forma de entender a dinâmica existente na localidade, os fatores de exposição, sensibilidade e resiliência foram analisados sob uma perspectiva temporal, tendo como base a análise da vulnerabilidade entre os anos de 2000 e 2010. Esta análise procurou demonstrar a variação da vulnerabilidade ambiental nesta década nas sub-bacias e a relação entre os fatores que a compõe. Cabe lembrar, que a inserção da escala tempo em estudos de vulnerabilidade, torna-os importantes instrumentos de planejamento, auxiliando na compreensão de que os impactos são produtos de ações e efeitos combinados entre si e se relacionam diretamente com o passado, presente e futuro da localidade (SANTOS, 2004).

4.2. Universo empírico de dados e informações

Em todas as etapas realizadas nos estudos dos fatores de exposição e sensibilidade e na análise da vulnerabilidade desta pesquisa, foram utilizados mecanismos e técnicas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permitiram editar, criar e manejar vários dados das sub-bacias.

Cabe ressaltar, que um SIG consiste em instrumentos que harmonizam e integram conjuntos de dados e que, ao lado de outros instrumentos, podem apoiar decisões de planejamento adequadas para a localidade (LANG & BLASCHKE, 2009). Esta ideia também é retratada por Silva (1999), que pontua o uso do SIG como uma importante ferramenta para a tomada de decisão e eficiente para muitas áreas de aplicação do conhecimento. Sendo um conjunto de instrumentos que permite a avaliação geral do processo de maneira fundamentada, chegando a resultados eficazes no planejamento de possíveis empreendimentos com rapidez e maior acesso às informações.

Para Lang & Blaschke (2009) o sistema de informação geográfica é uma das mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão de uma localidade, tendo como principais aplicações à detecção da realidade (delimitação de objetos), avaliação / planejamento / modelagem da paisagem, análise do uso e ocupação do solo e a descrição e análise da estrutura do espaço, tornando-se uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Em todo o processo de utilização de um SIG ocorrem interações entre homem-máquina e, quando estas são planejadas, só favorece a eficiência desta ferramenta. Estruturalmente esses profissionais e usuários envolvidos são parte integrante de um SIG, juntamente com o hardware, software e os dados. Os softwares possuem uma gama de funções, sendo elas entendidas como os próprios módulos que os constituem.

Dentre tais funções pode-se destacar (FITZ, 2008):

- aquisição e edição de dados;
- gerenciamento do banco de dados;
- análise geográfica de dados; e
- representação de dados.

Neste contexto, este trabalho adotou um SIG, o software ArcGIS Desktop 10², em suas edições e análises de dados, por ficar claro a importância de se utilizar um Sistema de Informação Geográfica em pesquisas como esta, que visam um diagnóstico da localidade através da obtenção, gestão, manipulação e análise de dados, podendo assim realizar um planejamento adequado a localidade.

O software ArcGIS Desktop 10 foi escolhido por este apresentar um layout prático e ferramentas de fácil manipulação, que favoreceram a organização, representação e manipulação dos dados. Além de também ter grande quantidade de tutoriais e manuais disponíveis gratuitamente, facilitando a compreensão dos processos necessários para obtenção dos produtos desejados e das dúvidas quando estas surgiram.

Este trabalho procurou constituir um banco de dados digitais através de dados já existentes das sub-bacias hidrográficas Jaguari (pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari) e Jacareí (pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí). Todos os dados existentes sobre a região de análise, foram, após sua aquisição, redimensionados a área das sub-bacias, formando um banco de dados cartográficos inicial (Quadro 2), que serviu de base para todas as edições, manipulações e análises necessárias para atingir os objetivos propostos a esta pesquisa.

Estes dados foram ajustados para integração em uma base única georreferenciada, sendo trabalhados no sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) no fuso 23 e DATUM SAD69.

A partir dos dados iniciais e de suas análises foram gerados mapas como produtos representativos dos resultados obtidos nesta pesquisa. Estes mapas foram confeccionados em diferentes escalas para as sub-bacias Jaguari e Jacareí, devido estas áreas apresentarem diferentes dimensões territoriais. Para serem impressos em papel no tamanho A4, os mapas foram gerados em escala de 1:85.000 quando referente a sub-bacia Jaguari e 1:55.000 para a sub-bacia Jacareí. O uso de diferentes escalas gerou diferentes aproximações dos dados espacializados.

² Foram utilizadas as licenças de experimentação EVA135417437 e EVA317792837 disponibilizadas gratuitamente pela empresa ESRI.

Quadro 2 – Base de dados secundários que compuseram o banco de dados inicial.

Quadro 2 – Base de dados secundários que compoem o Banco de dados inicial				
Tema	Dado Base	Escala	Fonte utilizada	Fonte primária
Limites	Limite do país	1:500.000	IBGE - Malha municipal digital do Brasil, 2005.	
	Limite dos Estados de SP e MG			
	Limite dos municípios	1:50.000	WHATLEY & CUNHA, 2007	IBGE - Malha municipal digital, 1997.
	Sede dos municípios			
	Limite do Sistema Cantareira			ISA, 2004.
	Limite das Sub-bacias Hidrográficas			
Drenagem	Hidrografia	1:50.000	WHATLEY & CUNHA, 2007	Cartas topográficas do IBGE.
	Nascentes			
Pedologia	Solo da porção mineira da Sub-bacia Jaguari	1:500.000	MINAS GERAIS, 2008	Não há informação.
	Solo da porção paulista da Sub-bacia Jaguari e do município de Joanópolis	1:500.000	Banco de dados do programa BIOTA-FAPESP	Não há informação.
Altimetria	Curvas de nível	1:50.000	WHATLEY & CUNHA, 2007	Cartas topográficas do IBGE.
	Pontos cotados de elevação			
Eixos de ruas e rodovias	Principais rodovias	1:50.000	WHATLEY & CUNHA, 2007	Base cartográfica do IBGE.
	Malha Viária			
Uso e ocupação do solo	Imagem de satélite Landsat 5 TM, cena 219-76 e na data 24/05/2000	Imagens com resolução espacial de 30 metros (escala nominal de mapeamento de 1:50.000)		DPI/INPE, 2011.
	Imagem de satélite Landsat 5 TM, cena 219-76 e na data 18/04/2010			

4.3. Área de estudo

Esta pesquisa assumiu como objeto empírico de estudo duas sub-bacias hidrográficas, por este recorte espacial ser uma unidade territorial delimitada, onde suas interações relacionadas ao fluxo hídrico são sistêmicas, favorecendo a interpretação do espaço e sendo comumente utilizada como área de trabalho em planejamentos (SANTOS, 2004).

As duas sub-bacias fazem parte das bacias formadoras do Reservatório Jaguari/Jacareí – Sistema Cantareira, sendo uma pertencente à bacia hidrográfica do rio

Jaguari, intitulada por este trabalho como a sub-bacia hidrográfica Jaguari e a outra inserida na bacia do rio Jacareí e aqui assumida como sub-bacia hidrográfica Jacareí (Quadro 3 e Figura 3). Estas áreas foram escolhidas devido às interações e consequências dos usos e ocupação do solo que ali ocorrem, interferirem diretamente na qualidade e quantidade da água do Reservatório Jaguari/Jacareí, que é o principal contribuinte do Sistema Cantareira.

Este manancial (Sistema Cantareira) está situado em grande parte na região sudeste do estado de São Paulo, ao norte da RMSP, entre as Serras da Mantiqueira e da Cantareira, tendo 71% de seu território no Estado de Minas Gerais, onde estão localizadas as cabeceiras da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari e a do seu afluente, o Rio Camanducaia, também formadores deste sistema.

Quadro 3 - Características das sub-bacias (área de estudo).

Sub-bacia	Bacia Hidrográfica (principal)	Área (Km ²)	Corpo hídrico (Sistema Cantareira)		Municípios
Jacareí	Jacareí	33,5	Sub-bacia de entrada do Reservatório Jacareí	Reservatório Jaguari/Jacareí*	Joanópolis/SP (100%)
Jaguari	Jaguari	85,0	Sub-bacia de entrada do Reservatório Jaguari		Extrema/MG (71%) e Vargem/SP (29%)

* O Reservatório Jaguari é interligado por um canal ao Reservatório Jacareí, transformando-os em um único reservatório.

O Sistema Cantareira entrou em funcionamento em 1974, transpondo, em sua grande maioria, água da bacia do Rio Piracicaba para a bacia hidrográfica do Alto Tietê, onde se localiza a grande São Paulo (WHATLEY & CUNHA, 2007). Esse sistema de abastecimento de água é considerado um dos maiores do mundo, pois possui uma estrutura de seis reservatórios, uma estação elevatória (Estação Elevatória Santa Inês) e uma estação de tratamento de água (Estação de Tratamento de Água do Guaraú), que são interligados por túneis artificiais subterrâneos, canais e bombas (SABESP, 2010) (Figura 4).

Este sistema abastece cerca de 50% da RMSP, correspondendo às zonas norte, central, parte da leste e oeste da capital paulista, os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul e parte dos municípios de Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra e Santo André, regulando ainda o fluxo de água para a Região Metropolitana de Campinas (WHATLEY & CUNHA, 2007).

Figura 3 - Localização do Sistema Cantareira, com destaque (em vermelho) para as áreas de estudo desta pesquisa. Organizada por Giovana Dominicci Silva.

Figura 4 - Esquema representativo das represas do Sistema Cantareira. Fonte: SABESP (2010)

Os reservatórios Jaguari/Jacaré são os maiores produtores do sistema, disponibilizando cerca de $22 \text{ m}^3/\text{s}$ de água, de um total de $33 \text{ m}^3/\text{s}$ que o sistema produz e, são interligados por um canal, o que acaba transformando-os em um único reservatório. Os reservatórios Cachoeira, Atibainha e Juquery, sendo este último mais conhecido como Reservatório Paiva Castro, contribuem com o sistema com cerca de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, $4 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Já o Reservatório Águas Claras exerce apenas a função de segurança do sistema, conseguindo manter o fluxo normal de água ($33 \text{ m}^3/\text{s}$) para a Região Metropolitana de São Paulo por até 3 horas, caso haja algum problema que o impossibilite de receber água dos outros reservatórios (SABESP, 2010).

O Sistema Cantareira abrange 12 municípios, nenhum em sua totalidade. Quatro deles estão localizados no estado de Minas Gerais (Extrema, Itapeva, Camanducaia e Sapucaí-Mirim) e oito no estado de São Paulo (Bragança Paulista, Caieiras, Franco da Rocha, Joanópolis, Nazaré Paulista, Mairiporã, Piracaia e Vargem), totalizando uma área aproximada de $2.279,5 \text{ Km}^2$ (WHATLEY & CUNHA, 2007).

Grande parte do sistema está inserido nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, que é a 5ª das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo (Lei Estadual Nº 7.663, de dezembro de 1991), sendo esta porção responsável por $31 \text{ m}^3/\text{s}$ de água transferidos para a Bacia do Rio Tietê através do Sistema Cantareira. Apenas $2 \text{ m}^3/\text{s}$ são produzidos na Bacia do Alto Tietê, pelo rio Juquery, que faz parte da UGRHI 6 – Alto Tietê, totalizando os $33 \text{ m}^3/\text{s}$ de água produzida pelo Sistema Cantareira.

Para a delimitação e seleção das sub-bacias hidrográficas foi utilizada a metodologia e os dados apresentados na publicação “Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira” (WHATLEY & CUNHA, 2007).

4.3.1. Sub-bacia hidrográfica Jaguari

A sub-bacia hidrográfica Jaguari está situada parte no Estado de São Paulo, município de Vargem, e parte no Estado de Minas Gerais, município de Extrema, fazendo também divisa com os municípios paulistas de Pedra Bela (noroeste) e Joanópolis (sudeste) (Figuras 5 e 8).

Figura 5 – Parte da sub-bacia Jaguari, vista do alto da Serra do Lopo. Fonte: Giovana Dominicci Silva (27 mar 2012).

Esta sub-bacia possui uma área total aproximada de 85 Km² e é cortada no sentido sudoeste-nordeste pela BR-381, mais conhecida como Rodovia Fernão Dias, que é a principal via de transporte terrestre entre as capitais estaduais de São Paulo e Belo Horizonte (WHATLEY & CUNHA, 2007).

Esta inserida no Aquífero Cristalino e em relação à hidrografia nesta sub-bacia hidrográfica encontra-se o Rio Jaguari e alguns de seus afluentes, como o Córrego Garaíuva, Córrego dos Cunhas, Ribeirão dos Godóis, Córrego do Matão, Córrego do Tomasinho, entre outros. O Rio Jaguari é um rio de domínio da União, pois situa-se em dois Estados, suas principais nascentes estão concentradas em Minas Gerais e logo que passa a fronteira para o Estado de São Paulo é represado tornando-se um dos principais contribuintes do Sistema Cantareira. A jusante do reservatório Jaguari/Jacareí, este rio une-se ao Rio Atibaia, formando o Rio Piracicaba, um dos rios mais importantes do interior do Estado de São Paulo (WHATLEY & CUNHA, 2007; PLANO DE BACIAS PCJ 2008-2011).

A região desta sub-bacia está inserida ao sul da Serra da Mantiqueira, no domínio do Planalto Atlântico, com relevos ondulado, colinoso e de planície aluvial, caracterizando um relevo muito movimentado de escarpas e maciços modelados em rochas do complexo cristalino (PLANO DE BACIAS PCJ 2008-2011).

A Serra do Lopo (Figuras 6 e 7), principal atrativo turístico natural da região (SEIXAS, et. al., 2010), está em grande parte inserida na sub-bacia hidrográfica Jaguari, com altitude variando de 900 a 1770 m. Possui o maior remanescente de vegetação secundária da localidade. Esta região está inserida nos domínios de Mata Atlântica e consiste em geral de florestas do tipo Ombrófila Densa, podendo ter algumas variações de formação vegetal devido às diferenças encontradas no clima, umidade e altitude que ocorrem nesta serra (YAMAMOTO, 2009).

Figura 6 – Vista da Serra do Lopo. Fonte: Giovana Dominicci Silva (19 set 2009).

Figura 7 – Serra do Lopo. Fonte: João Luiz Hoeffel (26 abr 2004).

Figura 8 - Mapa base da Sub-bacia Hidrográfica Jaguari.

4.3.2. Sub-bacia hidrográfica Jacareí

Diferente da Sub-bacia Hidrográfica Jaguari a Sub-bacia Jacareí está totalmente inserida em um único município e estado, no município de Joanópolis (SP), fazendo apenas ao norte divisa com o Estado de Minas Gerais (município de Extrema). Com uma área total de aproximadamente 33,5 Km², encontra-se nesta sub-bacia toda a infraestrutura urbana do município de Joanópolis (WHATLEY & CUNHA, 2007) (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Parte da sub-bacia Jacareí, vista do alto da Serra do Lopo. Fonte: Giovana Dominicci Silva (27 mar 2012).

Assim como a Sub-bacia Jaguari, a Sub-bacia Jacareí encontra-se inserida no Aquífero Cristalino. A hidrográfica corresponde à presença do Rio Jacareí, um dos formadores do Reservatório Jaguari/Jacareí. Este rio e o córrego das Águas Claras (seu afluente) são os responsáveis pelo abastecimento de Joanópolis. O rio Jacareí é um dos afluentes do Rio Jaguari, pertencendo assim a Bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (PLANO DE BACIAS PCJ 2008-2011).

A Sub-bacia Hidrográfica Jacareí insere-se no domínio do Planalto Atlântico, apresentando serras alongadas, morrotes alongados e espigões (PLANO DE BACIAS PCJ 2008-2011). Segundo o “Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo”, realizado em 2009 pelo Instituto Florestal, a região desta sub-bacia é de predomínio de Mata Atlântica, sendo de florestas do tipo Ombrófila Densa, definida por Mantovani & Santos (2007) como o bioma terrestre mais rico e diverso da Terra, favorecendo a existência de muitos nichos ecológicos.

Figura 10 - Mapa base da Sub-bacia Hidrográfica Jacareí.

5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COMO FATORES DE EXPOSIÇÃO

O ambiente natural é composto por diversos sistemas em diferentes níveis hierárquicos que trocam energia e matéria entre si a todo o momento, estabelecendo diversificados tipos de relações e interações entre seus organismos vivos e com todo o ambiente físico. Um exemplo claro de sistemas ambientais são as bacias hidrográficas, onde ocorrem interações entre os fatores bióticos e abióticos que são essenciais para o funcionamento desta unidade territorial (MANTOVANI & SANTOS, 2007).

Yassuda (1993) afirma que estas interações em uma bacia não se restringem apenas a fatores físicos e biológicos, mas também a fatores sociais, econômicos e culturais. Estes últimos (fatores antrópicos) podem colaborar para o aumento ou diminuição destas interações e, conseqüentemente, para a melhoria ou redução da qualidade ambiental da localidade (PADUA, 2006).

Toda e qualquer alteração no meio provoca modificações na configuração espacial da paisagem e na funcionalidade deste sistema. Por exemplo, interferências que ocorrem na cobertura do solo alteram a capacidade de armazenagem e de transferências no ciclo hidrológico. Muitas vezes essas interferências provocam uma reação em cadeia, trazendo sérios prejuízos a todo o ciclo (DREW, 2005).

As interferências no ambiente, decorrentes de usos e processos urbanos, industriais e rurais, trazem uma nova configuração ao sistema ambiental e os mais diversos impactos diretos e indiretos. Como por exemplo, o aumento da urbanização, sem planejamento, reduz a disponibilidade de água, deteriora a qualidade deste recurso e ameaça os ecossistemas aquáticos (HONG, et. al., 2012). Outro fator importante é a perda da permeabilidade do solo devido a processos intensos de urbanização, que vem sendo associados a alterações na hidrologia, nos nutrientes e sedimentos, que conseqüentemente, degradam o fluxo hídrico e faz com que haja perda das funções dos ecossistemas e da biodiversidade de modo geral (HONG, et. al., 2012).

Alguns dos principais impactos aos recursos hídricos e aos seus ecossistemas, derivados de ações antrópicas, foram pontuados por Tundisi (2005) e dispostos no Quadro 4.

Quadro 4 – Principais pressões antrópicas e seus impactos nos sistemas ambientais.

Atividade Humana	Impacto nos ecossistemas aquáticos	Valores/serviços em risco
Construção de represas.	Altera o fluxo dos rios e o transporte de nutrientes e sedimento e interfere na migração e reprodução de peixes.	Altera habitats e a pesca comercial e esportiva. Altera os deltas e suas economias.

Continua

Atividade Humana	Impacto nos ecossistemas aquáticos	Valores/serviços em risco
Construção de diques e canais.	Destrói a conexão do rio com as áreas inundáveis.	Afeta a fertilidade natural das várzeas e os controles das enchentes.
Alteração do canal natural dos rios.	Danifica ecologicamente os rios. Modifica os fluxos dos rios.	Afeta os habitats e a pesca comercial e esportiva. Afeta a produção de hidroeletricidade e transporte.
Drenagem de áreas alagadas.	Elimina um componente-chave dos ecossistemas aquáticos.	Perda de biodiversidade. Perda de funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes. Perda de habitats para peixes e aves aquáticas.
Desmatamento do solo.	Altera padrões de drenagem, inibe a recarga natural dos aquíferos, aumenta a sedimentação.	Altera a qualidade e a quantidade da água, pesca comercial, biodiversidade e controle de enchentes.
Poluição não controlada.	Diminui a qualidade da água.	Altera o suprimento de água. Aumenta os custos de tratamento. Altera a pesca comercial. Diminui a biodiversidade. Afeta a saúde humana.
Remoção excessiva de biomassa.	Diminui os recursos vivos e a biodiversidade.	Altera a pesca comercial e esportiva. Diminui a biodiversidade. Altera os ciclos naturais dos organismos.
Introdução de espécies exóticas.	Elimina espécies nativas. Altera ciclos de nutrientes e ciclos biológicos.	Perda de habitats e alteração da pesca comercial. Perda da biodiversidade natural e estoques genéticos.
Poluentes do ar (chuva ácida) e metais pesados.	Altera a composição química de rios e lagos.	Altera a pesca comercial. Afeta a biota aquática. Afeta a recreação. Afeta a saúde humana. Afeta a agricultura.
Mudanças globais no clima.	Afeta drasticamente o volume dos recursos hídricos. Altera padrões de distribuição de precipitação e evaporação.	Afeta o suprimento de água, transporte, produção de energia elétrica, produção agrícola e pesca e aumenta enchentes e fluxo de água em rios.
Crescimento da população e padrões gerais do consumo humano.	Aumenta a pressão para construção de hidroelétricas e aumenta a poluição da água e a acidificação de lagos e rios. Altera os ciclos hidrológicos.	Afeta praticamente todas as atividades econômicas que dependem dos serviços dos ecossistemas aquáticos.

Fonte: TUNDISI, 2005.

Há diversas formas de poluição e impactos gerados pelos usos urbanos, rurais e industriais nos recursos hídricos, mas cabe ressaltar os problemas de saúde pública advindos desses usos, como por exemplo, as doenças relacionadas à falta de saneamento e a baixa qualidade dos recursos hídricos, que acabam provocando altos índices de morbidade e mortalidade por todo o mundo (ANA, 2011).

A poluição das águas traz sérias consequências aos ecossistemas naturais afetando diretamente todos os seres vivos destes sistemas, com sérios impactos sobre

a biodiversidade e também na produção de alimentos e nos recursos pesqueiros. Os prejuízos relacionados aos impactos neste recurso natural não se restringem ao local onde ocorreu, chegando à maioria das vezes até as áreas costeiras, o que agrava a situação dos recursos oceânicos, dificultando a gestão de toda esta problemática (ANA, 2011).

Neste contexto, entende-se que os modelos atuais de apropriação do espaço têm provocado mudanças incisivas na configuração da paisagem, além de consecutivos impactos nos mais diversos recursos, tendo como consequência sérios problemas ambientais, sociais e econômicos, que alteram incisivamente a qualidade do ambiente. Sendo assim, este trabalho assume como fator de exposição na análise da vulnerabilidade os usos e ocupação do solo (urbanos e rurais) que ocorrem nas sub-bacias Jaguari e Jacareí, por compreender que estes são considerados aqui as forças motrizes responsáveis por gerar pressões e perturbações ao ambiente, podendo assim, afetar contundentemente a disponibilidade hídrica destes mananciais.

5.1. Procedimentos metodológicos específicos

Com o intuito de identificar quais são os usos e ocupação do solo que ocorrem nas Sub-bacias Hidrográficas Jaguari e Jacareí e realizar uma análise temporal dos usos urbanos e rurais durante os anos de 2000 e 2010, foram utilizados vários instrumentos de modo a atingir o objetivo proposto.

Primeiramente foram selecionadas as imagens de satélite no banco de imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Nesta seleção, foram considerados como fatores de escolha a data e a qualidade desta imagem. No que se refere à data, procurou-se imagens da mesma época do ano, para os anos de 2000 e 2010 e quanto à qualidade, as imagens selecionadas foram as quais não apresentavam nuvens sobre as áreas de estudo, pelo motivo que tal fator prejudica a identificação e classificação do uso e ocupação do solo.

De acordo com os fatores pontuados para a seleção das imagens de satélite, foi escolhida a imagem Landsat TM 5 na órbita 219-76 nas datas de 24/05/2000 e 18/04/2010, essas imagens apresentam uma resolução espacial de 30 metros e são distribuídas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Foi realizada a união das bandas espectrais, com o intuito de integrá-las em um único arquivo, facilitando a manipulação dessas imagens e a composição RGB. A próxima etapa constituiu no georreferenciamento das imagens orbitais que foi realizado

através de 13 pontos de controle e com base nos dados já georreferenciados da publicação “Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira” (WHATLEY & CUNHA, 2007). O georreferenciamento possibilitou o cruzamento dos dados gerados pela classificação das imagens de satélite com a base de dados e a sua compatibilização em análises temporais. Com as imagens georeferenciadas foi possível redimensioná-las para as áreas de estudo, com o intuito de facilitar a sua manipulação.

Foram selecionadas as classes de uso e ocupação do solo que nortearam as classificações das imagens, baseando-se nas utilizadas por Whately & Cunha (2007) e as expostas no Manual Técnico de Uso da Terra (2006), elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. As classes utilizadas são as seguintes: área urbanizada, campo antrópico, agricultura, reflorestamento, vegetação natural e corpo d’água e sendo estas apresentadas, juntamente com suas características e definições, no Quadro 5.

Este trabalho optou-se pela classificação não-supervisionada e contou nesta etapa com a colaboração e os ensinamentos do consultor em socioeconomia e SIG da empresa Arvorar Soluções Florestais, Fábio Bueno de Lima, que possui grande experiência em classificações do uso e ocupação do solo na região onde concentra-se as áreas de estudo desta pesquisa. As classificações foram realizadas de maneira a interpretar as imagens Landsat TM 5, utilizando 3 bandas no sistema RGB (Red-Green-Blue), sendo elas: a banda 3 no Red, a 4 no Green e a 5 no Blue.

Os layers de uso e ocupação do solo obtidos através das classificações das imagens Landsat TM 5 foram sincronizados com as imagens disponíveis no Google Earth, através da utilização de uma ferramenta disponível no ArcGis. Esta sincronização foi realizada a fim de conferir todos os polígonos gerados nas classificações com as imagens do Google Earth em datas próximas as das imagens Landsat, pelo motivo que estas apresentam uma melhor resolução, gerando assim, resultados mais fidedignos a realidade local.

Nas classificações foram identificadas algumas áreas de solo exposto, sendo que estas foram incorporadas a outras classes de uso e ocupação do solo pelo motivo que o solo exposto é uma condição momentânea e não uma classe de uso permanente. Os solos expostos são, em sua maioria, derivados do preparo da área para a realização de construções ou até mesmo do preparo da terra entre as safras agrícolas. Para esta readequação foram analisados e observados o entorno dos polígonos de solo exposto nos dois anos estudados (2000 e 2010), confirmando a sua realocação em outra classe de uso e ocupação do solo pelas imagens do Google Earth.

Quadro 5 - Classes de uso e ocupação do solo.

Classe	Amostra de trechos da imagem orbital correspondente à classe	Padrão típico da imagem orbital	Definição
Área urbanizada		Cor: magenta, roxo e lilás Textura: rugosa Forma: regular	Pode-se classificar as áreas urbanizadas como sendo lugares de uso intensivo urbano, contendo toda infraestrutura de bens e serviços. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte (sistema viário), energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e edificações que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas (IBGE, 2006).
Campo antrópico		Cor: roxo - azulado com rosa claro Textura: média Forma: irregular	Esta é uma classe bastante heterogênea, sendo áreas sem ocupação urbana e nenhum tipo de produção agrícola, com vegetação rasteira e esparsa, que muitas vezes é definida por pastagens ou pasto sujo (WHATLEY & CUNHA, 2007). Nesta classe também pode-se encontrar alguns afloramentos rochosos.
Agricultura		Cor: verde e azul - acinzentado Textura: lisa / média Forma: irregular / regular	São áreas que apresentam diferentes culturas agrícolas, podendo ser lavouras temporárias e permanentes (IBGE, 2006 e WHATLEY & CUNHA, 2007).
Reflorestamento		Cor: verde claro Textura: lisa Forma: irregular / regular	São áreas que ocorrem o plantio de maciços florestais com as espécies exóticas eucaliptos e pinus. Sendo na maioria das vezes plantios homogêneos dessas espécies (IBGE, 2006 e WHATLEY & CUNHA, 2007).
Vegetação natural		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	Compreende-se por vegetação natural em áreas dotadas de um conjunto de estruturas florestais nativas. Abrangendo os diversos estágios sucessionais de desenvolvimento (IBGE, 2006).
Corpo d'água		Cor: tons de vermelho Textura: lisa Forma: irregular	Insere-se nesta classe os lagos, açudes e reservatórios. Ainda é considerado corpo d'água locais onde são lançados e tratados qualquer tipo de efluente (IBGE, 2006). Nesta classe não estão inseridos os rios pelo motivo que a resolução das imagens Landsat TM5 não permite uma identificação exata destes corpos d'água.

Finalizada a conferência e a checagem das classificações geradas a partir das imagens de satélite Landsat TM 5, obteve-se quatro **mapas de uso e ocupação do solo**, sendo os mapas de 2000 e 2010 para a sub-bacia hidrográfica Jaguari e Jacareí. Estes mapas serviram de base para a próxima etapa metodológica, onde os mapas do ano 2010 foram sobrepostos aos mapas de uso e ocupação do solo do ano de 2000, gerando o **mapa de variação do uso e ocupação do solo** das sub-bacias em questão.

A análise dos dados de variação do uso e ocupação do solo entre os anos de 2000 e 2010 foi dividida em dois grupos: variação dos usos rurais e variação dos usos urbanos. Foi realizada essa divisão por entender que os usos urbanos e rurais são diferentes, apresentando distintos componentes e estruturas, tornando-os incomparáveis entre si.

A variação dos usos rurais teve como base uma ponderação dos usos utilizando a classificação de Ross (2007), que analisa esses usos sob a perspectiva do seu grau de proteção ambiental. Esta ponderação segue uma visão generalista, não levando em conta algumas variações que podem ocorrer dentro dessas classes de uso e ocupação do solo, como por exemplo, ações de manejo aplicadas a determinado uso ou até mesmo variações quanto ao tipo de agricultura, campo antrópico e silvicultura existente na localidade. Fato este, que pode alterar o grau de proteção ambiental em qual a classe foi enquadrada.

Este trabalho optou em adotar esta metodologia, por ter como resultado das classificações das imagens orbitais um produto sem muitas variações de classes, derivado da utilização de uma imagem de satélite com baixa resolução, não permitindo diferenciar as variações existentes dentro de uma mesma classe de uso. A ponderação utilizada e sugerida por Ross (2007) é a qual a vegetação natural e os corpos d'água conferem alto grau de proteção ambiental, o campo antrópico médio grau de proteção e a agricultura e os reflorestamentos de espécies exóticas baixo grau de proteção dos recursos naturais.

Esta ponderação foi aplicada a sobreposição dos mapas de uso e ocupação do solo (usos rurais) dos anos de 2000 e 2010 gerando uma matriz de interação (Quadro 6). Esta análise teve como base a divisão da variação dos usos rurais em diferentes níveis, sendo: áreas que não apresentaram variação do uso e ocupação do solo (usos rurais) (essas são áreas que nos anos de 2000 e 2010 encontravam-se em classes de usos rurais pertencente ao mesmo grau de proteção dos recursos naturais), áreas que variaram de forma positiva (níveis +1 e +2) e áreas que tiveram variação negativa (níveis -1 e -2).

Quadro 6 - Matriz de variação dos usos e ocupação do solo – usos rurais.

Ano 2010 Ano 2000	Corpo d'água / Vegetação natural	Campo antrópico	Reflorestamento / Agricultura
Corpo d'água / Vegetação natural	Não houve variação do uso e ocupação do solo entre os anos estudados	Variação negativa (nível -1)	Variação negativa (nível -2)
Campo antrópico	Variação positiva (nível +1)	Não houve variação do uso e ocupação do solo entre os anos estudados	Variação negativa (nível -1)
Reflorestamento / Agricultura	Variação positiva (nível +2)	Variação positiva (nível +1)	Não houve variação do uso e ocupação do solo entre os anos estudados

A análise dos usos urbanos teve como base a identificação e a diferenciação desses usos em dois estados, sendo as áreas urbanas consolidadas (áreas que estavam inseridas na classe “área urbanizada” no ano de 2000 e 2010) e as áreas urbanas em fase de consolidação (sendo áreas que no ano de 2000 apresentavam usos rurais e em 2010 encontravam-se urbanizadas). Foi criada esta diferenciação por entender que as áreas urbanas consolidadas apresentam uma maior quantidade de infraestruturas que auxiliam na manutenção da qualidade do ambiente (coleta e tratamento de esgoto, coleta dos resíduos sólidos e etc.) e também de áreas com solo exposto (terrenos sem construção) que beneficiam os processos de erosão e assoreamento dos corpos d'água. O Quadro 7 demonstra esta diferenciação entre os usos urbanos.

Quadro 7 - Matriz de variação dos usos e ocupação do solo – usos urbanos.

Ano 2010 Ano 2000	Área urbanizada
Área urbanizada	Área urbana consolidada
Áreas com usos rurais	Área urbana em fase de consolidação

Os mapas de variação dos usos rurais e usos urbanos são aqui empregados como os mapas finais na análise da exposição nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, demonstrando a dinâmica dos usos e ocupação do solo que ocorreu entre os anos de 2000 e 2010 nestas localidades.

Este processo de manipulação e criação de dados favoreceu a correlação entre os usos e ocupação do solo que ocorrem nas áreas de estudo com as pressões exercidas pelos mesmos, juntamente com o entendimento dos mesmos analisados sob uma perspectiva temporal. Cabe ressaltar, que a realização da diferenciação entre os usos urbanos e os rurais também foi aqui empregada como forma de facilitar o entendimento dos usos e evidenciar as diferenças entre as sub-bacias.

5.2. Resultados e discussão

A partir dos mapas de uso e ocupação do solo das sub-bacias hidrográficas Jaguari (Figuras 11 e 12) e Jacareí (Figuras 13 e 14) foi possível identificar os usos presentes e suas porcentagens, de tal forma entender o processo de ocupação durante a década estudada (ano de 2000 a 2010).

Todos os dados relativos a estes mapas estão alocados na Tabela 1, demonstrando que estas sub-bacias apresentam altas porcentagens de usos considerados humanos (agricultura, área urbanizada, campo antrópico e reflorestamento) com cerca de 72,6% em 2000 e 68,7% em 2010 na sub-bacia Jaguari e 87,5% no ano de 2000 e 83,8% em 2010 na sub-bacia Jacareí, tendo destaque as áreas de campo antrópico, sendo este uso o mais representativo nas duas sub-bacias (Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22).

O aumento do corpo d'água na sub-bacia Jacareí durante os anos analisados se deu exclusivamente pelo fato que no ano de 2010 o Reservatório Jaguari-Jacareí estava operando em níveis mais altos de água que no ano de 2000 e assim, tendo um de seus braços invadindo o território da sub-bacia.

Tabela 1 - Usos e ocupação do solo nas sub-bacias Jaguari e Jacareí.

Classes de uso e ocupação do solo	Sub-bacia Jaguari		Sub-bacia Jacareí	
	2000 (%)	2010 (%)	2000 (%)	2010 (%)
Agricultura	0,6	1,3	5,0	9,7
Área urbanizada	4,9	10,1	4,7	7,3
Campo antrópico	61,8	55,1	69,7	56,8
Corpo d'água	0,2	0,2	0,3	0,9
Reflorestamento	5,3	2,2	8,1	10,0
Vegetação natural	27,2	31,1	12,2	15,3

Figura 11 – Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 12 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

As menores porcentagens encontradas nas duas áreas de estudos são as que se referem aos corpos d'água, mas cabe aqui lembrar que nesta classe de uso não estão inseridos os rios de pequeno e grande porte pelo motivo que a imagens Landsat TM5 não apresenta uma resolução adequada para esta finalidade. Um valor bastante expressivo encontrado nas classificações foi o relacionado à vegetação natural na sub-bacia hidrográfica Jaguari, com porcentagens de 27,2% (no ano de 2000) e 31,1% (em 2010).

Figura 15 - Pastagem com gado no município de Vargem/SP (Sub-bacia Jaguari). Fonte: Giovana Dominicci Silva (01 jun 2009).

Figura 16 - Pasto sujo na sub-bacia Jacareí. Fonte: Diego de Toledo Lima da Silva (19 abr 2009).

Figura 17 – Agricultura no município de Vargem/SP (Sub-bacia Jaguari). Fonte: Giovana Dominicci Silva (01 jun 2009).

Figura 18 – Agricultura na sub-bacia Jacareí. Fonte: Diego de Toledo Lima da Silva (04 ago 2009).

Figura 19 – Silvicultura no município de Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari). Fonte: Giovana Dominicci Silva (09 mar 2012).

Figura 20 – Silvicultura na sub-bacia Jacareí. Fonte: Diego de Toledo Lima da Silva (19 abr 2009).

Figura 21 – Parte da área urbana do município de Extrema/MG, que encontra-se na sub-bacia Jaguari. Fonte: Giovana Dominicci Silva (27 mar 2012).

Figura 22 – Área urbana do município de Joanópolis/SP, que encontra-se na sub-bacia Jacareí. Fonte: Giovana Dominicci Silva (27 mar 2012).

Esta constatação também foi feita por outro estudo, o Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira, realizado pelo Instituto Socioambiental (WHATLEY & CUNHA, 2007), que verificou que a região do Sistema Cantareira, onde as referidas sub-bacias estão inseridas, é extremamente alterada por usos antrópicos, que ocupam 73% do território, principalmente por campos antrópicos, que abrangem 51,6% de toda a sua área, restando cerca de 21% do território cobertos por vegetação remanescente da Mata Atlântica, em seus estágios inicial, médio e avançado de regeneração.

Whatley & Cunha (2007), relatam que os principais usos e ocupação do solo presentes na região são os usos urbanos, turísticos, silviculturais e industriais, sendo que este último ocorre com mais frequência nos municípios de Atibaia (SP), Bragança Paulista (SP) e Extrema (MG). Além da localização privilegiada para a instalação de empresas, a proximidade com a RMSP faz com que a região, em especial a área dos mananciais, caracterizadas por belas paisagens, seja também atrativa para o mercado imobiliário.

Esta realidade também foi constatada em vários estudos realizados na região Bragantina em cerca de 10 anos de análises feitas pelo Centro de Estudos Ambientais – Sociedades e Naturezas, que buscava em seus projetos entender a problemática ambiental vivenciada nesta região. Em muitos desses estudos foi constatado que a região do Sistema Cantareira vem sendo afetada por processos intensos de urbanização devido ao fácil acesso pelas rodovias regionais, D. Pedro I e Fernão Dias. Este fator, quando associado aos atrativos turísticos naturais da localidade, faz com que esta região se torne alvo dos mais diversos empreendimentos imobiliários, consolidando um processo crescente de interferência na cobertura do solo. Esta problemática é agravada pelo fato que a região é de extrema importância para a produção de água, sendo responsável pela manutenção da disponibilidade hídrica local e regional, além de remanescentes de Mata Atlântica (HOEFFEL *et al.*, 2004; FADINI, 2005).

Com a sobreposição dos mapas de uso e ocupação do solo nos anos de 2000 e 2010 foi possível analisar a variação que ocorreu durante a década estudada (Figuras 23, 24, 25 e 26) nas duas sub-bacias. Havendo o predomínio dos usos rurais (89,6% - Jaguari e 92,7% - Jacareí), restando apenas 10,4% e 7,3% das sub-bacias Jaguari e Jacareí, respectivamente, destinados aos usos urbanos.

Figura 23 - Mapa de variação dos usos rurais da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 24 - Mapa de variação dos usos urbanos da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 25 - Mapa de variação dos usos rurais da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Figura 26 - Mapa de variação dos usos urbanos da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Os dados apresentados na Tabela 2 mostram que grande parte das áreas de estudo entre os anos de 2000 e 2010 não variaram quanto ao uso e ocupação do solo, permanecendo na mesma classe quanto ao seu grau de proteção dos recursos naturais, destacando-se a permanência de áreas das sub-bacias em campo antrópico, cerca de 47% (Jaguari) e 50% (Jacareí).

Tabela 2 – Variação dos usos rurais nas sub-bacias analisadas.

Nível de Variação	Ano de 2000	Ano de 2010	Sub-bacia Jaguari		Sub-bacia Jacareí	
			% relacionada a variação total da sub-bacia	% do total da variação dos usos rurais	% relacionada a variação total da sub-bacia	% do total da variação dos usos rurais
+ 2 (variação positiva)	Agricultura	Vegetação natural	---	---	0,003	0,003
	Reflorestamento	Corpo d'água	0,004	0,005	0,022	0,023
	Reflorestamento	Vegetação natural	2,832	3,160	2,489	2,685
		Total do nível + 2	2,836	3,165	2,514	2,712
+ 1 (variação positiva)	Agricultura	Campo antrópico	0,503	0,562	1,797	1,938
	Campo antrópico	Corpo d'água	0,141	0,157	0,468	0,505
	Campo antrópico	Vegetação natural	7,046	7,863	5,540	5,975
	Reflorestamento	Campo antrópico	1,521	1,698	2,201	2,373
		Total do nível + 1	9,211	10,279	10,005	10,791
0 (zero) (Não houve variação quanto ao grau de proteção dos recursos naturais)	Agricultura	Agricultura	0,075	0,084	3,075	3,316
	Agricultura	Reflorestamento	---	---	0,029	0,031
	Campo antrópico	Campo antrópico	47,461	52,965	50,145	54,084
	Corpo d'água	Corpo d'água	0,071	0,080	0,233	0,251
	Corpo d'água	Vegetação natural	0,007	0,008	0,003	0,003
	Reflorestamento	Agricultura	0,039	0,044	0,270	0,291
	Reflorestamento	Reflorestamento	0,775	0,865	2,724	2,938
	Vegetação natural	Corpo d'água	0,015	0,017	0,144	0,155
		Total do nível 0	69,576	77,644	63,916	68,938
- 1 (variação negativa)	Campo antrópico	Agricultura	1,139	1,271	6,096	6,574
	Campo antrópico	Reflorestamento	1,124	1,254	6,103	6,582
	Corpo d'água	Campo antrópico	0,058	0,065	0,016	0,017
	Vegetação natural	Campo antrópico	5,327	5,945	2,689	2,900
		Total do nível - 1	7,648	8,535	14,903	16,074
- 2 (variação negativa)	Corpo d'água	Agricultura	0,001	0,001	---	---
	Vegetação natural	Agricultura	0,070	0,078	0,246	0,266
	Vegetação natural	Reflorestamento	0,267	0,298	1,131	1,220
		Total do nível - 2	0,338	0,377	1,378	1,486

Retratando este mesmo nível de variação, cabe aqui ressaltar que 23,5% da sub-bacia Jaguari relacionados aos usos rurais estavam cobertos por vegetação natural durante a década estudada. As áreas que tiveram variações a níveis +1 (variação

positiva quanto ao grau de proteção dos recursos naturais) apresentaram quase as mesmas porcentagens entre as sub-bacias, chamando a atenção para as porcentagens de áreas de campo antrópico que foram convertidas para vegetação natural. Quando analisado o nível +2 de variação percebe-se que cerca de 3% das áreas rurais ocupadas por plantações silviculturais foram substituídas também por vegetação natural nas duas sub-bacias.

Quando analisado o nível -1 de variação dos usos rurais observa-se uma diferença no comportamento das sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, onde esta última apresenta cerca de 13% dos usos rurais de áreas com campo antrópico sendo transformadas em usos agrícolas e silviculturais e a Jaguari com cerca de 6% das áreas rurais cobertas por vegetação que foi substituída por campo antrópico. No nível -2 (variação negativa), que engloba a substituição de usos rurais entre os quais apresentam maior grau de proteção dos recursos naturais por outros que menos protegem, apresentaram incidências quase imperceptíveis nas duas áreas de estudo, tendo cerca de 0,4% na sub-bacia Jaguari e 1,5% na Jacareí.

Percebe-se que a metodologia empregada na análise da variação dos usos rurais, que utilizou a classificação quanto ao grau de proteção dos recursos naturais descrita por Ross (2007), apresenta alguns limites quanto a sua aplicação, por não conseguir distinguir e analisar quando houve uma substituição por usos diferentes que estão inseridos no mesmo nível de variação, como o que ocorreu na substituição do corpo d'água por vegetação natural e de vegetação natural por corpo d'água. Não se pode afirmar que estas substituições estão inseridas em uma variação neutra pelo fato que elas podem ter ocorrido por causa de eventos como cheia ou seca dos corpos d'água ou até mesmo pelo assoreamento deste corpo e sendo este substituído por vegetal natural. Nos casos como a substituição de campo antrópico e de reflorestamento por corpo d'água segue os mesmos limites já citados, pois não consegue-se afirmar que esta mudança de uso possa ser considerada positiva, pelo fato que ela pode ter ocorrido devido algum processo erosivo.

Conforme descrito na metodologia, a análise da variação dos usos urbanos foi realizada de maneira a compreender as porcentagens de áreas urbanizadas e quais são os usos que foram substituídos por estas áreas durante os anos de 2000 e 2010 (Tabela 3). Com esta análise foi possível identificar que pequena porcentagem das sub-bacias hidrográficas analisadas é de áreas urbanizadas (consolidadas e em fase de consolidação). Mesmo sendo áreas com baixas porcentagens, merece destaque por terem apresentado um aumento significativo, como a sub-bacia Jaguari que entre a década estudada teve a sua área urbanizada duplicada, mas vale ressaltar, que as duas

sub-bacias apresentaram porcentagens variando entre 47% e 30% da variação dos usos urbanos de áreas que antes eram de campo antrópico e que foram substituídas por áreas urbanas.

Tabela 3 - Variação dos usos urbanos nas sub-bacias analisadas.

Nível de Variação	Ano de 2000	Ano de 2010	Sub-bacia Jaguari		Sub-bacia Jacaré	
			% relacionada a variação total da sub-bacia	% do total da variação dos usos urbanos	% relacionada a variação total da sub-bacia	% do total da variação dos usos urbanos
Usos urbanos consolidados	Área urbanizada	Área urbanizada	4,904	47,199	4,578	62,851
	Total da área urbana consolidada		4,904	47,199	4,578	62,851
	Agricultura	Área urbanizada	0,011	0,107	0,045	0,620
Usos urbanos em fase de consolidação	Campo antrópico	Área urbanizada	4,965	47,772	2,222	30,500
	Corpo d'água	Área urbanizada	0,018	0,178	---	---
	Reflorestamento	Área urbanizada	0,098	0,947	0,156	2,147
	Vegetação natural	Área urbanizada	0,395	3,798	0,283	3,891
Total da área urbana em fase de consolidação			5,487	52,801	2,706	37,158

O crescimento das áreas urbanizadas na sub-bacia Jaguari chamou a atenção por terem apresentado um aumento superior a 100%, sendo que grande parte dessas áreas que se tornaram áreas urbanizadas na década estudada está localizada no entorno dos corpos hídricos e no eixo da Rodovia Fernão Dias (BR 381), cabe ressaltar, que nesta sub-bacia localiza-se toda a área urbana do município de Extrema (Figuras 20 e 21).

Hoeffel et. al. (2012) relatam que nos últimos anos o município de Extrema passou por forte processo de urbanização, apresentando um dos maiores índices de crescimento populacional da região. Segundo dados do Censo 2010 do IBGE, o número de habitantes em Extrema passou de 19.219 no ano de 2000 para 28.564 em 2010. Este fato é decorrente do desenvolvimento econômico municipal intensificado pela proximidade da Região Metropolitana de São Paulo, pela duplicação da Rodovia Fernão Dias e também pela pressão imobiliária (HOEFFEL et. al., 2012).

O intenso desenvolvimento econômico que vem acontecendo em Extrema (MG) é, em sua maioria, decorrente da instalação de um grande número de indústrias no município, que são atraídas pela construção de distritos industriais no eixo da Rodovia Fernão Dias (localização privilegiada, facilitando o escoamento da produção para os Estados de MG e SP, principalmente para a RMSP) e os incentivos fiscais, criando novas oportunidades de empregos e, assim, intensificando o processo de urbanização na sub-bacia Jaguari (HOEFFEL et. al., 2012).

Índices como o Produto Interno Bruto Per Capita (PIB Per Capita) refletem este desenvolvimento. Estudo realizado pelo Centro de Estatísticas e Informações (CEI) da Fundação João Pinheiro do Governo de Minas Gerais demonstrou que no ano de 2000 o PIB Per Capita do município de Extrema era de R\$ 16.696,05 e já no ano de 2009 este número saltou para R\$ 51.346,80, sendo maior que o PIB Per Capita da capital do Estado de Minas Gerais (o município de Belo Horizonte) que, em 2009, era de R\$ 18.182,70.

A expansão industrial e o crescimento populacional, decorrentes dos fatores descritos, vêm acentuando a expansão urbana do município de Extrema em direção as áreas naturais, determinando grandes impactos na flora, fauna da localidade e principalmente na disponibilidade (qualidade e quantidade) hídrica da região (HOEFFEL et. al., 2012) (Figuras 27 e 28).

Figura 27 - Urbanização no pé da Serra do Lopo - município de Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari). Fonte: João Luiz Hoeffel (04 out 2006).

Figura 28 - Área de expansão urbana e industrial no município de Extrema/MG (Sub-bacia Jaguari). Fonte: João Luiz Hoeffel (04 out 2006).

O município de Vargem (SP), área paulista da sub-bacia Jaguari, e o município de Joanópolis, sub-bacia Jacaré, apresentam índices e condições de desenvolvimento bem parecidos e diferenciados dos apresentados no município de Extrema/MG (Figura 29). Ambos os municípios são considerados de pequeno porte devido aos números de habitantes que apresentam. Vargem no ano de 2000 tinha 6.975 habitantes e Joanópolis 11.409 e, em 2010 Vargem passou a ter 8.801 habitantes e Joanópolis 11.771 (IBGE, 2011). Esses municípios são caracterizados principalmente por usos rurais e turísticos, apresentando um PIB Per Capita que reflete sua realidade (Vargem em 2009 com um índice de R\$ 8.467,06 e Joanópolis de R\$ 11.989,86) (SEADE, 2011).

Toda a análise da variação dos usos e ocupação do solo (rurais e urbanos) consistiu em entender a dinâmica presente nestas sub-bacias, embasando o entendimento quanto os modelos de apropriação do espaço que estão sendo incorporados a estas áreas de mananciais.

A dinâmica temporal analisada demonstra que as sub-bacias expõem características diferentes quanto a sua exposição, apresentando a sub-bacia Jacareí um aumento na exposição quanto aos usos rurais, pois as pressões neste sistema estão concentradas em maiores proporções no ambiente rural. Em contrapartida, esta dinâmica de exposição apresenta-se de forma diferente na sub-bacia Jaguari, com uma diminuição da exposição no que se refere aos usos rurais, mas um aumento considerável da exposição e das pressões sobre os ecossistemas naturais devido a áreas que foram urbanizadas.

Sendo assim, cabe ressaltar que as duas bacias analisadas por este estudo tiveram índices quase iguais quanto à diminuição da exposição, mas ao mesmo tempo apresentaram fatores e exposições diferenciadas entre usos urbanos e rurais, fato que faz aumentar a diversidade de pressões nos recursos hídricos do Reservatório Jaguari-Jacareí e conseqüentemente de todo o Sistema Cantareira.

6. COBERTURA VEGETAL COMO FATOR DE SENSIBILIDADE

Atualmente, há grandes preocupações em torno das relações existentes entre os fatores que compõe o ecossistema, seus serviços ambientais (ecossistêmicos) e os mecanismos econômicos de compensação, como por exemplo, o pagamento por serviços ambientais (PSA). Essas discussões em torno de projetos de PSA vêm como forma de restabelecer ecossistemas que estão dotados de baixa qualidade ambiental ou os que apresentam grande importância e fragilidade ambiental. Na região do Sistema Cantareira, os projetos de PSA estão focados principalmente nos serviços ambientais dos ecossistemas florestais e dos recursos hídricos, destacando a vegetação como provedora de serviços ecossistêmicos aos recursos hídricos, devido à importância desta região no abastecimento das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas.

Esta interação, entre ecossistemas florestais e recursos hídricos, é destaque em alguns trabalhos, Valle (2010) por exemplo, pontua a importância da conservação florestal para a manutenção do ciclo da água (chuvas, velocidade de escoamento, infiltração, manutenção de nascente) e as influências que o desmatamento exerce nos processos erosivos e de assoreamento dos corpos hídricos, afetando os recursos hídricos.

Muitos dos serviços ambientais e ecossistêmicos sofrem alterações por ações de desmatamento ou por perturbações na cobertura vegetal, comprometendo a qualidade da água, a recarga de aquíferos e perda de biomassa, além de causar um aumento de toxidade e eutrofização desses corpos d'água. Consequentemente há um aumento no custo do tratamento da água e grande perda na proteção desses mananciais (TUNDISI, 2008).

Neste contexto, fica claro que a qualidade e a quantidade de água estão intimamente ligadas com a qualidade ambiental de toda a bacia hidrográfica e que a cobertura vegetal tem papel decisivo na regulação dos ciclos hidrológicos, biológicos / biogeoquímicos e na manutenção dos ecossistemas naturais. Sendo determinante no fluxo de água e nutrientes (entre vegetação ↔ solo ↔ água superficial ↔ água subterrânea) em todo o ecossistema (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

Tundisi & Matsumura-Tundisi (2010) afirmam que qualquer alteração nos ecossistemas florestais, uma perturbação ou até mesmo desmatamentos, trazem sérios prejuízos aos recursos hídricos, sendo que estes prejuízos são ainda mais intensos quando a remoção da vegetação ocorre em áreas no entorno dos corpos hídricos. Neste caso, pode-se destacar como principais efeitos negativo da remoção da vegetação no

entorno de rios, lagos e represas a degradação da qualidade da água, maior sedimentação dos corpos hídricos, diminuição da infiltração de água no solo e, por consequência, déficits na estocagem de água subterrânea, comprometendo de maneira significativa os serviços ambientais prestados pelos recursos hídricos (PADUA, et al., 2011; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

A degradação dos recursos hídricos através da remoção de vegetação em bacias hidrográficas pode ainda piorar quando se avaliam os impactos causados pelo novo uso dado a essas áreas desmatadas, principalmente quando se trata das margens dos corpos d'água. Entre os impactos e suas consequências pontua-se a impermeabilização do solo e canalização dos rios através dos processos de urbanização, utilização de grande quantidade de água nos processos de produção agrícola e industrial e o descarte de seus efluentes sem nenhum tratamento nos rios, causando a piora na qualidade e quantidade hídrica desses mananciais. Também deve-se pensar que solos expostos ou com atividades agrícolas são mais propensos a processos de erosão e lixiviação, que, por consequência, causam a sedimentação e eutrofização dos corpos d'água, trazendo prejuízos à fauna e à flora aquática e também aumentam os gastos no tratamento das águas para abastecimento humano (PADUA et. al, 2011; ANTONIAZZI, 2008; TUNDISI, 2008) .

Os efeitos da remoção e fragmentação da vegetação não se restringem somente à perda da qualidade e quantidade dos corpos d'água, mas também a biodiversidade da fauna e flora. As matas ciliares fazem ainda a função de corredores ecológicos e mudanças em sua estrutura e composição vegetal, podem vir a interferir diretamente na organização populacional da fauna, alterando a quantidade de nichos ecológicos e os fragmentos florestais remanescentes podem tornar-se pequenos demais para abrigar espécies que necessitam de grandes áreas para sobreviver (FERNANDEZ, 2010).

Os animais de pequeno porte, como os anfíbios, também sofrem com o desmatamento, onde em sua maioria parte de seu ciclo de vida acontece em água e parte em terra, as matas ciliares fazem a ligação entre o ambiente terrestre e a água. E quando ocorre fragmentação desses ecossistemas florestais, esses animais correm sérios riscos de não conseguir completar seu ciclo de vida e também de sobreviver, devido ao caminho entre mata e água ter se tornado longo de mais (BOURSCHEIT, 2010).

Desta forma, compreende-se que a relação existente entre água e floresta ultrapassa os limites dos serviços ambientais relacionados aos que ambas produzem e ao fornecimento de boa qualidade e quantidade hídrica pelos serviços florestais. Os efeitos desta interação perpassam por diversos níveis hierárquicos dos ecossistemas,

colaborando com o ciclo de vida e a sobrevivência de muitas espécies. A partir dessas premissas, esta pesquisa assume a cobertura vegetal como fator principal na análise da sensibilidade nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, sendo a presença deste recurso natural determinante a assegurar os níveis mais baixos de fragilidade ambiental.

6.1. Procedimentos metodológicos específicos

Para analisar a fragilidade ambiental de duas sub-bacias hidrográficas, pertencentes às bacias formadoras do reservatório Jaguari-Jacareí / Sistema Cantareira, os procedimentos metodológicos foram realizados de modo a ter como resultado final o mapa de fragilidade ambiental das sub-bacias hidrográficas Jacareí e Jaguari entre os anos de 2000 a 2010, dando destaque as áreas ao redor dos corpos hídricos.

Com relação ao entorno dos rios, este trabalho não utilizou o formato legal das Áreas de Preservação Permanente (APP), por entender que as dimensões estabelecidas pela Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, não asseguram a estabilidade e a manutenção dos sistemas hídricos (bacia hidrográfica). Portanto, este trabalho assume uma visão mais conservadora no que tange a conservação da cobertura do solo e a manutenção dos sistemas hídricos no entorno dos corpos hídricos, utilizando como recorte territorial, em algumas análises, uma faixa de 100 metros no entorno dos corpos hídricos, compreendendo que quando esta área apresenta uma boa qualidade ambiental, ela auxilia a produção e manutenção hídrica em uma bacia hidrográfica. Estas faixas de 100m ao longo dos rios representam cerca de 30% da área total da sub-bacia Jaguari (25,23 Km²) e 35,5% da sub-bacia Jacareí (11,9 Km²).

De forma a contemplar o objetivo pretendido, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) das sub-bacias estudadas, a partir de dados topográficos (curvas de nível e pontos cotados). O MDE serviu de base para a construção do mapa de declividade das áreas através da ferramenta *Slope* do ArcGis. O mapa de declividade foi gerado em porcentagem e sendo as mesmas adotadas pelo Plano de Gestão da Área de Proteção Ambiental Fernão Dias (MINAS GERAIS, 2008), por compreender que estas classes determinam a realidade local. Sendo as seguintes classes: 0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 20%, 20 a 45% e maior que 45%.

Nesta pesquisa foram utilizados os mapas de solos que estavam disponíveis, mesmo entendendo que nas localidades ocorrem maiores variações, quanto os tipos de solo, que as apresentadas nestes mapas. O mapa de solos dos Estados de São Paulo e Minas Gerais foram redimensionados para as áreas de estudo a fim de integrar a informação pedológica com a de declividade, tendo como resultado o **mapa de**

suscetibilidade à erosão com áreas de baixa, média, alta e muito alta suscetibilidade, conforme a lógica apresentada no Quadro 8.

A partir do mapa de uso e ocupação do solo utilizado na análise do fator de exposição, foi selecionada a cobertura vegetal dos anos de 2000 e 2010 das duas sub-bacias e sendo posteriormente gerado o **mapa de variação da vegetação entre os anos de 2000 a 2010**, com 4 classes, a saber: áreas que permaneceram vegetadas no período analisado, áreas que no ano de 2000 não apresentavam vegetação e em 2010 encontravam-se vegetadas, áreas que não apresentaram vegetação em nenhum dos anos estudados e áreas que perderam sua vegetação durante a década estudada.

Quadro 8 - Matriz de interação entre os tipos de solos e a declividade das sub-bacias Jaguari e Jacareí, resultando na análise da suscetibilidade à erosão.

Tipos de solo	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico					Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico				
	0 - 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	> 45	0 - 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	> 45
Suscetibilidade à erosão	Média	Alta	Alta	Muito Alta	Muito Alta	Baixa	Média	Alta	Alta	Muito Alta

Com a sobreposição dos mapas de suscetibilidade à erosão e de variação da vegetação, foi possível gerar o **mapa de fragilidade ambiental** das sub-bacias. A fragilidade ambiental foi classificada em 5 classes, descritas no Quadro 9.

Quadro 9 - Matriz de interação entre suscetibilidade à erosão e variação da cobertura vegetal, resultando na análise da fragilidade ambiental das sub-bacias Jacareí e Jaguari.

				Suscetibilidade à erosão			
				Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Variação da cobertura vegetal	Áreas que permaneceram vegetadas entre os anos de 2000 e 2010.	Não apresentou variação (com vegetação)		Muito Baixa	Muito Baixa	Baixa	Baixa
	Áreas que no ano de 2000 não apresentavam vegetação e em 2010 encontravam-se vegetadas.	Ocorreu variação (positiva)		Muito Baixa	Baixa	Média	Média
	Áreas que não apresentaram vegetação em nenhum dos anos estudados.	Não apresentou variação (sem vegetação)		Média	Alta	Muito Alta	Muito Alta
	Áreas que entre os anos de 2000 e 2010 perderam sua vegetação.	Ocorreu variação (negativa)		Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta

Fragilidade ambiental

Fragilidade ambiental

Este mapa foi empregado para apontar áreas de maior e menor fragilidade ambiental nas sub-bacias Jacareí e Jaguari e para fornecer subsídios à análise das condições de fragilidade ambiental no entorno (100m) dos corpos hídricos. No mapa de fragilidade ambiental, foi calculado um *buffer* (zona-tampão a partir de um ponto de referência) de 100m dos corpos hídricos das sub-bacias. Esta faixa de 100m (entorno dos rios) do mapa de fragilidade ambiental foi isolado de maneira a auxiliar na compreensão do estado de fragilidade dessas áreas que são mais vulneráveis e importantes aos recursos hídricos.

Na análise do entorno dos corpos hídricos, foi considerada apenas a hidrografia presente na publicação “Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira” (2007), obtida a partir das cartas do IBGE. Não foram considerados os corpos d’água obtidos na análise do uso e ocupação do solo realizado por esta pesquisa, por serem, na maioria das vezes, estações de tratamento de efluentes e pequenos lagos, sendo este último, considerado um sistema fechado com pouca relação e influências nos rios da bacia hidrográfica (FIGUEIREDO, 2007).

Cabe ressaltar, que na análise do fator de sensibilidade também estariam presentes dados relacionados à qualidade e a quantidade hídrica dos rios presentes nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, o que auxiliaria no entendimento da disponibilidade hídrica e sua interface com a fragilidade ambiental desses mananciais. Esses dados foram solicitados aos órgãos públicos competentes, mas não foram cedidos.

6.2. Resultados e discussão

A construção e análise da fragilidade ambiental, entre os anos de 2000 e 2010, das sub-bacias hidrográficas Jacareí e Jaguari baseou-se na correlação dos mapas de suscetibilidade à erosão (tipos de solo e declividade) e de variação da cobertura vegetal, com foco nas faixas de 100m ao longo dos rios. Desta forma, pôde-se compreender o estado da fragilidade ambiental destas sub-bacias que são de extrema importância para o Sistema Cantareira e para o próprio abastecimento público das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas.

Neste contexto, é importante ressaltar algumas características da região onde situa-se as duas sub-bacias hidrográficas, como por exemplo, o predomínio dos solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVA_d) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVA_d) como apresentados nos mapas de pedologia das sub-bacias Jaguari (Figura 29) e Jacareí (Figura 30).

Figura 29 – Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 30 – Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

O solo do tipo Argissolo vermelho-amarelo, tendo maior presença nas áreas de estudo, apresenta percentagens de 53,9% na Sub-bacia Jaguari e 55,8% na Sub-bacia Jacareí. Este é um solo que apresenta um aumento no gradiente de argila em profundidade, tendo o horizonte B mais argiloso e estruturado que o horizonte A e, assim classificado em argiloso e médio argiloso. A profundidade é variável, mas em geral são solos pouco profundos e profundos, são moderadamente bem drenados, com textura muito variável. Podendo ocorrer nos mais variados relevos, mas de uma maneira geral, pode-se dizer que os argissolos são mais suscetíveis à erosão, sobretudo quando o gradiente textural é mais acentuado, e sob relevo mais movimentado com fortes declives (REATTO, 2004; PRADO, 2010a).

Com porcentagens de 46,1% e 44,2% nas sub-bacias Jaguari e Jacareí, respectivamente, os latossolos apresentam cores vermelho-amareladas, são solos argilosos e profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural. Podem ocorrer em relevos suaves até fortemente ondulados, mas em relevos com alta declividade há um forte potencial de erosão, principalmente quando a ocupação do solo exige movimentação freqüente (REATTO, 2004; PRADO, 2010b).

Os mapas de declividade (Figuras 32 e 33) demonstram que nas áreas de estudo ocorre uma grande variação das classes de declividade, pelo fato de que estas apresentam um o relevo muito movimentado (Figura 31), fato observado nas duas sub-bacias hidrográficas.

Figura 31 – Relevo encontrado em grande parte da região onde as sub-bacias estão inseridas. Fonte: Cristiane Ferraz e Silva Suares (01 jul 2008).

Figura 32 – Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 33 – Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Os dados referentes aos mapas de declividades estão na Tabela 4. A sub-bacia Jaguari apresenta cerca de 39% do seu território inserido em um relevo fortemente ondulado a montanhoso, cerca de 26% da área desta sub-bacia está inserida na classe de 0 – 3% de declividade, que corresponde a relevos planos, 24,4% está inserida na classe de 8 – 20%, sendo relevos moderadamente ondulado a ondulado, cerca de 10% da sub-bacia está classificada com declividades superiores a 45% e apenas 1,3% em áreas com suave ondulado.

Tabela 4 – Declividade das sub-bacias Jaguari e Jacareí.

Declividade	Sub-bacia Jaguari	Sub-bacia Jacareí
Classes	(%)	(%)
0 - 3%	25,8	28,2
3 - 8%	1,3	1,4
8 - 20%	24,4	24,5
20 - 45%	38,6	35,6
> 45%	9,9	10,3

A sub-bacia Jacareí apresenta boa parte do seu território, 28,2%, em relevos planos, 1,4% da sua área é de relevo ondulado suave, 24,5% moderadamente ondulado a ondulado e quase a metade do seu território (cerca de 46%) inseridos em um relevo fortemente ondulado a montanhoso escarpado.

Com a sobreposição dos mapas de solo e de declividade foi possível confeccionar de forma simplificada mapas de suscetibilidade à erosão (Figuras 34 e 35) das sub-bacias e, a partir destes mapas foi possível observar que as duas sub-bacias apresentam um perfil de suscetibilidade muito parecido.

Os dados referentes à suscetibilidade à erosão refletem em uma análise estática, pois são utilizados dados físicos, que não apresentam grandes mudanças ao longo do tempo. Desta forma, a análise destes mapas demonstra que os ambientes por si só apresentam naturalmente, em porcentagens variadas, áreas suscetíveis à erosão e que dependendo do tipo de interferência antrópica nestes locais, os processos erosivos podem ser desencadeados e agravados.

Figura 34 – Mapa de suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 35 – Mapa de suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Mais da metade das duas sub-bacias estão inseridas nas classes de alta e muito alta suscetibilidade à erosão, com percentagens perto de 74% na sub-bacia Jaguari e 70% na sub-bacia Jacareí. Com baixa suscetibilidade estão inseridos cerca de 15,2% do território da sub-bacia Jaguari e 16,8% da sub-bacia Jacareí. As menores percentagens desta análise encontram-se inseridas no nível de média suscetibilidade à erosão (Tabela 5).

Tabela 5 - Suscetibilidade à erosão das sub-bacias Jacareí e Jaguari.

Níveis de Suscetibilidade à Erosão	Sub-bacia Jaguari (%)	Sub-bacia Jacareí (%)
Baixa	15,2	16,8
Média	11,2	14,1
Alta	39,9	36,4
Muito Alta	33,6	32,7

A análise da variação da cobertura vegetal foi pautada pela presença ou ausência deste recurso natural nos anos analisados. Primeiramente foram confeccionados os mapas de cobertura vegetal nos anos de 2000 e 2010 para as duas sub-bacias.

Estes mapas foram aqui empregados como a representação visual dos 27,2% (em 2000) e 31,1% (em 2010) de cobertura vegetal encontrados na sub-bacia Jaguari (Figuras 36 e 37) e os 12,2% (em 2000) e 15,3% (em 2010) de vegetação da sub-bacia Jacareí (Figuras 39 e 40). A partir da sobreposição desses mapas foi possível obter o mapa da variação da cobertura vegetal para as sub-bacias Jaguari (Figura 38) e Jacareí (Figura 41).

Para realizar esta sobreposição, foram empregadas 4 classes (Quadro 9) de variação com a finalidade de compreender as porcentagem de ganho ou perda da cobertura vegetal e a alocação dessas áreas dentro das sub-bacias.

Figura 36 – Mapa da cobertura vegetal no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 37 – Mapa da cobertura vegetal no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 38 – Mapa de variação da cobertura vegetal entre os anos de 2000 e 2010 da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 39 – Mapa da cobertura vegetal no ano de 2000 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Figura 40 – Mapa da cobertura vegetal no ano de 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Figura 41 – Mapa de variação da cobertura vegetal entre os anos de 2000 e 2010 da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Os dados relacionados aos mapas de variação da cobertura vegetal estão na Tabela 6 e demonstram que grande parte da sub-bacia Jaguari (84%) não teve nenhuma variação quanto à presença ou ausência de vegetação. Deste total, 63% não apresentou vegetação nativa durante a década analisada, mas sim com usos que interferem de forma negativa a produção hídrica. Cerca de 16% desta sub-bacia ocorreu variação, sendo 9,9% de variação positiva (áreas que foram vegetadas) e 6,1% de área com variação negativa (áreas onde ocorreram desmatamento).

Tabela 6 - Variação da vegetação das áreas de estudo.

Níveis de Variação da Vegetação	Sub-bacia Jaguari (%)	Sub-bacia Jacareí (%)
Áreas que permaneceram vegetadas entre os anos de 2000 e 2010.	21,1	7,3
Áreas que no ano de 2000 não apresentavam vegetação e em 2010 encontravam-se vegetadas.	9,9	8,0
Áreas que não apresentaram vegetação em nenhum dos anos estudados.	63,0	80,2
Áreas que entre os anos de 2000 e 2010 perderam sua vegetação.	6,1	4,5

A variação da cobertura vegetal na sub-bacia Jacareí segue quase os mesmos moldes da sub-bacia Jaguari, onde 87,5% de suas áreas não apresentaram nenhuma variação quanto ao aspecto de presença ou ausência de cobertura vegetal, sendo que deste total apenas 7,3% permaneceram vegetadas e os outros 80,2% são áreas que não estavam vegetadas no período estudado. Os 12,5% restante do total da sub-bacia, são áreas que tiveram alguma variação quanto à cobertura vegetal, sendo 8% de áreas que obtiveram uma variação positiva, ou seja, áreas que foram vegetadas e 4,5% com variação negativa (áreas que perderam sua vegetação nesta década estudada).

As sub-bacias analisadas apresentaram altos índices de áreas que não variaram quanto à vegetação, mas infelizmente sendo em sua maioria áreas que permaneceram sem cobertura vegetal durante os anos de 2000 e 2010. Também foi possível verificar que houve uma sensível recuperação dos ecossistemas florestais nas localidades estudadas, mas este fato não impediu que áreas vegetadas fossem desmatadas.

A partir da sobreposição dos mapas de suscetibilidade à erosão e de variação da cobertura vegetal, foi possível obter os mapas de fragilidade ambiental das sub-bacias analisadas e do entorno de seus corpos hídricos (Figuras 42, 43, 44 e 45).

Figura 42 – Mapa da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 43 – Mapa da fragilidade ambiental do entorno dos rios da sub-bacia hidrográfica Jaguari.

Figura 44 – Mapa da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Figura 45 – Mapa da fragilidade ambiental do entorno dos rios da sub-bacia hidrográfica Jacareí.

Os dados extraídos dos mapas de fragilidade ambiental estão dispostos na Tabela 7. Cabe ressaltar, que os mapas de fragilidade ambiental do entorno dos corpos hídricos (Figuras 42 e 44) apresentam os mesmos resultados obtidos nos mapas de fragilidade ambiental (Figuras 43 e 45), não sendo realizada nenhuma outra análise, mas sim, uma aproximação do entorno dos corpos hídricos, dando destaque a esta área que é de maior importância para a manutenção hídrica.

Tabela 7 - Fragilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacaréi.

Níveis de Fragilidade Ambiental	Sub-bacia Jaguari		Sub-bacia Jacaréi	
	Área total da sub-bacia (%)	Faixa de 100m dos corpos hídricos (%)	Área total da sub-bacia (%)	Faixa de 100m dos corpos hídricos (%)
Muito Baixa	3,6	7,5	1,7	1,2
Baixa	19,5	10,9	7,2	7,1
Média	19,3	26,6	21,3	21,4
Alta	9,9	19,3	12,6	12,2
Muito Alta	47,6	35,7	57,3	58,1

Os dados obtidos através do mapa de fragilidade ambiental da sub-bacia Jacaréi demonstram que a maioria do território deste manancial encontra-se em áreas de fragilidade muito alta (cerca de 57%), seguidos de 21,3% em áreas de média fragilidade ambiental e 12,6% em áreas de alta fragilidade.

As faixas de 100m no entorno dos corpos hídricos, são áreas que quando estão em níveis de baixa vulnerabilidade ou fragilidade ambiental auxiliam na manutenção de serviços ambientais essenciais para esses mananciais. Desta forma, percebe-se que estas áreas na sub-bacia Jacaréi apresentam porcentagens ainda maiores (70,3%) nos níveis de alta e muito alta fragilidade ambiental, quando comparada a análise de todo o território desta sub-bacia. Este dado indica que grande parte das áreas no entorno dos rios (100 metros de cada lado) apresentam altos níveis de fragilidade, podendo assim, comprometer a disponibilidade hídrica desta sub-bacia. A minoria, cerca de 8%, do território da sub-bacia Jacaréi e das áreas que estão inseridas nas faixas de 100m dos corpos hídricos, apresentam baixa e muito baixa fragilidade ambiental.

Analisando o mapa de fragilidade ambiental da sub-bacia Jaguari, compreende-se que quase metade do seu território, cerca de 47%, são áreas de fragilidade muito alta. Já as áreas de baixa e média fragilidade ambiental correspondem juntas a cerca de 38% e 9,9% de todo o seu território é composto por áreas de alta fragilidade. As áreas consideradas de fragilidade ambiental muito baixa correspondem a apenas 3,6% do seu território.

Neste mesmo contexto, apresenta-se o estado de fragilidade ambiental na faixa de 100m dos corpos hídricos na sub-bacia Jaguari, sendo o nível de fragilidade muito alta o mais representativo na sub-bacia (35,7%), seguido de média (26,6%), alta (19,3%), baixa (10,9%) e muito baixa (7,5%) fragilidade. Grande parte do entorno dos corpos hídricos desta sub-bacia estão sendo ocupados por áreas urbanas do município de Extrema e também por usos industriais (HOEFFEL, et. al., 2008), através da criação de pólos industriais instalados no eixo da Rodovia Fernão Dias (BR 381).

Observando os mapas de fragilidade ambiental das sub-bacias Jacareí e Jaguari percebe-se que a presença da cobertura vegetal nestas sub-bacias é determinante para garantir boa qualidade ambiental e baixa fragilidade do ambiente. Um exemplo interessante é a sub-bacia Jaguari, que sofre por processos de intensificação do uso e ocupação do solo através da industrialização e urbanização do município de Extrema, mas ainda apresenta um grande remanescente florestal a sudeste da sub-bacia, área denominada de Serra do Lopo. Esta é uma área que apesar de apresentar altas declividades, é considerada de baixa fragilidade ambiental neste estudo, devido à presença de vegetação durante a década estudada e, sendo a vegetação nativa determinante na sustentação dos processos ecológicos, mesmo quando o ambiente apresenta propriedades físicas que leva a propensão de alta vulnerabilidade do sistema.

Quando comparadas as sub-bacias percebe-se que ambas possuem características específicas que as diferenciam na alocação da fragilidade ambiental, fato expressivo pelo motivo que foram encontrados, na sub-bacia Jacareí, quase as mesmas percentagens de fragilidade nas áreas no entorno dos rios e no restante de seu território. Na sub-bacia Jaguari não ocorre esta distribuição uniforme da fragilidade ambiental, apresentando diferenças consideráveis da fragilidade encontrada no entorno dos rios e no resto da sub-bacia. Isto sugere que na sub-bacia Jaguari ocorrem ações ou usos diferenciados.

7. VULNERABILIDADE AMBIENTAL E MECANISMOS DE RESILIÊNCIA

A abordagem sistêmica inserida na análise de sistemas naturais, traz um melhor entendimento do funcionamento e das relações existentes nos sistemas ambientais, permitindo compreender as pressões e impactos exercidas em um ou mais componentes que, acabam afetando todo o sistema por uma reação em cadeia. A resposta a essas alterações vem de maneira a tentar um diferente rearranjo funcional que resulte em um novo equilíbrio, certamente diferente do estado anterior, por ter tido interferências que de alguma forma prejudicou a qualidade deste ambiente (THOMAZIELLO, 2007).

Um ambiente/sistema natural só está em equilíbrio quando consegue executar todas as suas funções ecossistêmicas de maneira harmônica e, quando inserido um novo componente neste sistema (como, por exemplo, um novo uso da terra) o equilíbrio é afetado, pois este novo componente obriga todo o sistema a realizar novas relações e interações entre todos os componentes, comprometendo a funções ambientais realizadas e a harmonia antes existente (DREW, 2005; THOMAZIELLO, 2007).

Neste mesmo contexto, Christofolletti (2004) afirma que para um sistema estar em equilíbrio é necessário que as forças controladoras estejam ajustadas, a ponto deste sistema entrar em um estado de estabilidade dinâmica, uma vez que estas forças apresentam variações em intensidade e frequência. Este equilíbrio, em um sistema ambiental, é denominado pela capacidade que o mesmo tem em retornar ao seu estado inicial após uma pressão ou impacto.

A estabilidade de um ecossistema pode ser dividida em dois tipos, (demonstrados na Figura 46) definidos por Odum & Barret (2007), como:

- Estabilidade de resistência – capacidade de um ecossistema em manter sua estrutura e funcionamento frente às perturbações ou distúrbios;
- Estabilidade de resiliência – capacidade que um ecossistema possui de se recuperar a partir de uma perturbação.

A estabilidade ou o equilíbrio de um sistema está intimamente ligada ao grau de sua sensibilidade a uma perturbação, pressão e estresse, podendo-se dizer que, quanto mais sensível o sistema estiver ou quão menos resistente e resiliente for, maior será o seu estado de vulnerabilidade (MORETTO et. al., no prelo).

Figura 46 – A variação da função de um sistema natural quanto às estabilidades. Fonte: Adaptado de Odum e Barret (2007).

Para Moretto et. al. (no prelo) quanto mais o sistema ambiental trabalhar fora da sua faixa normal de operação maior será a probabilidade de não conseguir retornar ao seu estado inicial, devido muitas vezes à baixa estabilidade resiliênte ou a altas pressões permanentes, podendo reestruturar e reorganizar os seus elementos de maneira a formar um sistema que trabalhe dentro de outra faixa de operação, muitas vezes mais simples e com menos elementos, de maneira a tentar entrar em equilíbrio novamente. Estes mesmos autores pontuam que, quanto mais os sistemas ambientais trabalharem fora da sua faixa normal de operação, mais distantes eles estarão de sua estabilidade e, portanto muito mais vulneráveis (MORETTO et. al., no prelo).

Neste contexto, a resiliência em sistemas sócio-ambientais pode também ser retratada como um serviço ambiental que este sistema proporciona para a manutenção de toda a sociedade. Sendo assim, em sistemas com altos índices de vulnerabilidade, como o caso das sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, cabe a inserção de mecanismos que proporcionem maior resiliência ao sistema. De maneira a estabelecer condições ambientais apropriadas ou até mesmo regular os mais diversos usos e ocupação do solo e o uso dos recursos hídricos, que interferem na disponibilidade hídrica destes mananciais. A implementação de uma agenda de resiliência colabora com a diminuição da vulnerabilidade e consequentemente com o aumento do equilíbrio / estabilidade desses sistemas.

7.1. Dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental

A análise da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental vem a favor do entendimento das condições e transformações ocorridas nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí durante os anos de 2000 e 2010. O entendimento do estado de vulnerabilidade vêm a corroborar com a formulação e implementação de práticas de planejamento e gestão mais sustentáveis, que busquem reduzir a vulnerabilidade nos sistemas sócio-ambientais e, auxiliar nas previsões das incertezas socioeconômicas, ambientais, físicas e biológicas, adquirindo assim, uma maior relevância e utilidade nas tomadas de decisões.

7.1.1. Procedimentos metodológicos específicos

A análise da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacareí foi realizada a partir dos produtos finais da análise dos fatores de exposição e sensibilidade, de forma a atingir o objetivo proposto que era identificar qual o estado de vulnerabilidade ambiental destas localidades durante os anos de 2000 e 2010. Este estudo foi pautado pela sobreposição dos mapas de variação do uso e ocupação do solo (usos rurais e urbanos) e da fragilidade ambiental destas localidades, com destaque para as áreas no entorno dos corpos d'água (100 m), gerando dois mapas finais para cada sub-bacia – o **mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental** e o **mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do entorno dos rios**.

Estes mapas, quando analisados sob a perspectiva da variação dos usos rurais, tiveram os níveis de vulnerabilidade diferenciados em cinco classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta vulnerabilidade) e quando associado à variação dos usos urbanos, esta diferenciação foi feita em apenas três classes de vulnerabilidade (média, alta e muito alta), por compreender que os ambientes urbanos apresentam um maior grau de transformação do espaço natural que os ambientes rurais.

A realização de um cruzamento de duas diferentes variáveis, utilizando uma matriz de interação (Quadro 10), com a finalidade de interpretar a vulnerabilidade, foi aqui embasada pela metodologia apresentada por Santos et. al. (2009) na publicação “Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro”.

Os mapas finais - de vulnerabilidade ambiental das áreas de estudo - foram aqui empregados de maneira a compreender qual a variação do estado de vulnerabilidade

das sub-bacias Jaguari e Jacaréi em uma análise de dez anos. Estes mapas auxiliaram no entendimento das relações e interações existentes nestes sistemas, sendo um diagnóstico dessas áreas. Também percebeu-se que estes dados foram essenciais no entendimento de quais áreas necessitam de uma maior atenção em sua gestão e melhor planejamento das ações de conservação que auxilie na manutenção ou melhoria da qualidade ambiental deste manancial.

Quadro 10 - Matriz de interação entre a variação dos usos e ocupação do solo com a fragilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacaréi, resultando na vulnerabilidade ambiental.

		Variação dos usos e ocupação do solo							
		Variação dos usos rurais					Variação dos usos urbanos		
		Variação positiva		Não houve variação	Variação negativa		Não houve variação	Houve variação do uso e ocupação do solo	
		+ 2	+ 1	0 (zero)	- 1	- 2	Usos urbanos consolidados	Usos urbanos em fase de consolidação	
Fragilidade ambiental	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Combinações não existentes.		Combinações não existentes.		
	Baixa	Muito Baixa	Baixa	Baixa					
	Média	Baixa	Baixa	Média	Alta		Média	Alta	
	Alta	Combinações não existentes.	Média	Alta	Alta	Muito Alta	Alta	Muito Alta	
	Muito Alta		Média	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	Muito Alta	
		Vulnerabilidade Ambiental					Vulnerabilidade Ambiental		

7.1.2. Resultados e discussão

Os mapas de vulnerabilidade ambiental das sub-bacias Jaguari e Jacaréi foram construídos com base na união dos dados resultantes das análises dos fatores de exposição e resiliência de maneira a proporcionar o entendimento do estado de vulnerabilidade dessas (Figuras 47, 48, 49 e 50).

Figura 47 – Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia Jaguari.

Figura 48 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do entorno dos corpos hídricos da sub-bacia Jaguari.

Figura 49 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental da sub-bacia Jacaréi.

Figura 50 - Mapa da dinâmica temporal da vulnerabilidade ambiental do entorno dos corpos hídricos da sub-bacia Jacareí.

Os dados extraídos dos mapas de vulnerabilidade estão na Tabela 8, e demonstram que grande parte das duas sub-bacias estão muito vulneráveis nesta análise temporal. Cerca de 57% da sub-bacia Jaguari (Figura 47) e 69% da Jacareí (Figura 49) estão inseridas nas classes alta e muito alta vulnerabilidade. Outro dado que chama a atenção é que a sub-bacia hidrográfica Jacareí apresenta apenas 16,5% de sua área nas classes muito baixa e baixa vulnerabilidade, já a sub-bacia Jaguari apresenta quase o dobro em percentual (31,4%) de áreas nestas mesmas classes.

Também percebe-se que a sub-bacia Jacareí apresenta a sua maior percentagem na classe mais vulnerável deste estudo e sendo ela maior que a percentagem encontrada nesta classe na sub-bacia Jaguari, compreendendo que a sub-bacia Jacareí está mais vulnerável que a sub-bacia Jaguari, mesmo esta última tendo apresentado maiores índices de perda de vegetação natural e de áreas que foram urbanizadas.

Tabela 8 - Vulnerabilidade ambiental nas sub-bacias Jaguari e Jacareí.

Níveis de Vulnerabilidade Ambiental	Sub-bacia Jaguari		Sub-bacia Jacareí	
	Área total da sub-bacia (%)	Faixa de 100m dos corpos hídricos (%)	Área total da sub-bacia (%)	Faixa de 100m dos corpos hídricos (%)
Muito Baixa	3,7	3,7	2,0	1,5
Baixa	27,7	25,5	14,5	14,4
Média	11,8	11,4	14,8	14,3
Alta	9,1	10,3	13,4	13,9
Muito Alta	47,7	49,1	55,3	56,0

Nas duas áreas de estudo a aproximação realizada no entorno dos corpos hídricos (100m dos rios), demonstraram que estas áreas apresentam quase os mesmos índices percentuais de vulnerabilidade ambiental encontrados na análise da área total das sub-bacias, dado que representa que o entorno dos corpos hídricos (área de maior importância e influência para os recursos hídricos) também se encontra bastante vulnerável e sem nenhum cuidado específico que o restante das sub-bacias (Figuras 48 e 50).

Quando comparados os níveis de vulnerabilidade ambiental encontrados no entorno dos rios e no restante da sub-bacia Jacareí, percebe-se que permanece o mesmo perfil descrito na análise da fragilidade ambiental, ou seja, esta sub-bacia não apresenta diferenças na distribuição da vulnerabilidade em seu território. Cabe ressaltar que esta sub-bacia apresentou aumento do índice de exposição, mas também foi possível observar que, quando comparadas à fragilidade ambiental com a vulnerabilidade, percebe-se que este último não seguiu os mesmos padrões que a fragilidade, apresentando menores porcentagens nos níveis mais altos e um aumento de

áreas com baixa vulnerabilidade.

Na sub-bacia Jaguari, o perfil entre o entorno dos rios e o restante da sub-bacia apresenta-se um pouco diferenciado na análise da vulnerabilidade, com porcentagens muito próximas ou até mesmo as mesmas encontradas nestas áreas. Nesta mesma sub-bacia percebe-se que no entorno dos corpos hídricos há pequenas diferenças nos níveis de vulnerabilidade encontrados entre a porção paulista e a mineira de seu território, sendo observado que no município de Vargem (SP) há menores porcentagens de áreas mais vulneráveis (alta e muito alta vulnerabilidade) que as encontradas no município de Extrema (MG) (Tabela 9).

Tabela 9 - Vulnerabilidade ambiental nas porções paulista e mineira da sub-bacia Jaguari.

Níveis de Vulnerabilidade Ambiental	Porção Paulista da Sub-bacia Jaguari (29% da área total da sub-bacia Jaguari)		Porção Mineira da Sub-bacia Jaguari (71% da área total da sub-bacia Jaguari)	
	% da área total da porção paulista	% dos entorno dos rios (100m) na porção paulista	% da área total da porção mineira	% dos entorno dos rios (100m) na porção mineira
Muito Baixa	4,6	10,3	3,3	6,7
Baixa	27,6	17,2	27,7	19,0
Média	17,1	28,6	9,6	14,7
Alta	6,6	12,5	10,2	19,5
Muito Alta	44,1	31,3	49,2	40,0

Também foi possível observar que a sub-bacia Jacareí apresenta uma dinâmica da vulnerabilidade ambiental mais alta que a sub-bacia Jaguari, onde presença de cobertura vegetal e a suscetibilidade à erosão foram decisivos na compreensão desta vulnerabilidade, pois mesmo a sub-bacia Jaguari ter apresentado grandes porcentagens de usos antrópicos, o seu alto índice de área coberta por vegetação natural foi decisivo para a diminuição da vulnerabilidade nesta sub-bacia, mas ressaltando que esta ainda apresenta grande parte das áreas do entorno dos corpos hídricos altamente vulneráveis. Na sub-bacia Jacareí, por sua vez, as altas porcentagens de áreas não cobertas por vegetação natural, fez aumentar os níveis mais críticos de fragilidade e de vulnerabilidade ambiental em seu território.

7.2. Mecanismos de gestão como fatores de resiliência

Os mecanismos de gestão são aqui empregados como fatores de resiliência por auxiliarem na manutenção da qualidade ambiental dos sistemas naturais e o entendimento quanto ao estabelecimento desses mecanismos torna-se um diferencial para as tomadas de decisões, colaborando para a melhoria da gestão dos recursos. Quando a gestão e planejamentos são direcionados ao provimento de resiliência,

acabam gerando subsídios para ações que busquem a diminuição da vulnerabilidade ambiental em territórios dotados de baixa resiliência. Colaborando com a prevenção e unindo esforços para que todos os processos antrópicos que ocorram neste sistema não comprometam definitivamente os seus serviços ecossistêmicos e sua estabilidade.

7.2.1. Procedimentos metodológicos específicos

A análise da resiliência foi baseada na presença ou ausência dos principais mecanismos de gestão dos recursos hídricos e dos usos e ocupação do solo dos municípios (Extrema/MG, Vargem/SP e Joanópolis/SP) onde as sub-bacias Jaguari e Jacareí estão inseridas. De maneira a compreender quais são os mecanismos que estão presentes na agenda de resiliência destas localidades, fato que induz o entendimento de quão completa esta agenda for, melhor será a resiliência e as possibilidades de diminuição da vulnerabilidade destas sub-bacias.

Foram selecionados os mecanismos cuja aplicação contribui para uma boa qualidade ambiental dos sistemas naturais, principalmente no que diz respeito à melhoria da disponibilidade hídrica e ao controle das formas de apropriação do espaço (usos e ocupação do solo). Em grande parte desta análise não foram considerados como recorte espacial os limites das sub-bacias, mas sim, as bacias hidrográficas, os municípios ou até mesmo os Estados onde elas estão inseridas, pelo fato de que os mecanismos de gestão selecionados são aplicados nas esferas municipais, estaduais e federais.

Os mecanismos selecionados são:

- Regularização dos aterros sanitários
- Projetos de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APP e de áreas degradadas
- Regularização do tratamento de esgoto
- Licenciamento ambiental
- Políticas urbanas
- Reserva da Biosfera, unidades de conservação e seus planos de manejo, gestão e zoneamento
- Comitê de Bacia Hidrográfica
- Agência de água (agência de bacia)
- Plano de bacia
- Outorga
- Fiscalização

- Monitoramento dos rios
- Enquadramento dos corpos d'água
- Cobrança pelo uso da água
- Legislações

A verificação de existência desses mecanismos foi realizada por meio de pesquisas de gabinete junto a instituições governamentais, como as Prefeituras Municipais, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo (SMA), o Instituto Florestal (IF), a Agência Nacional das Águas (ANA), Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo (Fundação Florestal), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação SEADE), Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ), Agência de Água PCJ, Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD), Instituto Estadual de Florestas - MG (IEF), Fundação Estadual do Meio Ambiente - MG (FEAM) e entre outros. Também foram utilizados como fontes para esta pesquisa os projetos e trabalhos desenvolvidos pelo Instituto Socioambiental (ISA) e a ONG Pró-Joá.

Como no fator de sensibilidade, alguns dados e informação não foram liberados pelos órgãos públicos competentes e também muitas das informações necessárias para a análise da resiliência não são produzidas ou não sistematizadas, tendo desta forma, que restringir esta análise a identificar a presença ou a ausência dos mecanismos de gestão, comprometendo o entendimento quanto à efetividade desses mecanismos.

Esta análise é a única não espacializada, pelo fato que nenhum dos mecanismos de gestão, indutores de resiliência, são trabalhados na esfera das sub-bacias, sendo poucos aplicados em âmbito municipal e a grande maioria ocorrem nas esferas das bacias hidrográficas maiores (Bacias PCJ) e nas esferas estaduais, sendo assim, a espacialização dos fatores nas sub-bacias seria quase a mesma para todo o território das sub-bacias, podendo só haver pequenas diferenças na Sub-bacia Jaguari que tem partes em dois Estados.

Assim, foi realizada uma análise descritiva deste fator, que procurou entender junto à análise da vulnerabilidade ambiental, se a incidência desses instrumentos de gestão dos recursos hídricos e do controle do uso e ocupação do solo pode colaborar na melhoria das condições ambientais, de forma a diminuir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência dessas localidades.

7.2.2. Resultados e discussão

A seguir é feito um relato dos principais mecanismos de gestão relacionados aos recursos hídricos e ao uso e ocupação do solo:

- *Regularização dos aterros sanitários*

Dos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Domiciliares, produzidos pela CETESB e publicados entre os anos de 2004 e 2011, foram extraídos os dados (presentes nos Quadros 11 e 12) que mostram o processo de regularização e melhoria dos aterros onde são depositados os resíduos sólidos dos municípios de Vargem (SP) e Joanópolis (SP).

Durante a década estudada houve uma preocupação desses municípios paulistas em participar de ações do Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição - FECOP, Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO e dos Projetos Ambientais Estratégicos do Governo do Estado de São Paulo – o projeto Lixo Mínimo e o Município Verde Azul, que auxiliaram na regularização e em melhorias na forma de descarte dos resíduos e os seus aterros, condicionando-os nos últimos anos a bons Índices de Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR (CETESB, 2011).

No Estado de Minas Gerais, ocorre o Programa “Minas sem Lixões”, que tem o intuito de apoiar os municípios no cumprimento das normas de gestão adequada de resíduos sólidos urbanos estabelecidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam) (FEAM, 2012). O município de Extrema, porção mineira da sub-bacia Jaguari, foi beneficiado pelo programa e dispõe os seus resíduos sólidos em um aterro sanitário regularizado, recebendo 9 t/mês de resíduos domiciliares e parte das 500 t/mês de resíduos inertes. Neste mesmo aterro são encaminhados cerca de 1 t/mês de resíduos dos serviços de saúde municipal. (PLANO DE BACIA PCJ 2008-2009; FEAM, 2012).

- *Projetos de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APP e de áreas degradadas*

Neste item destaca-se 3 projetos, sendo dois deles executados no município de Joanópolis/SP e um no município de Extrema/MG, mas nenhum teve sua área de aplicação sobre os territórios das sub-bacias Jaguari e Jacareí.

Quadro 11 - Inventário do aterro de resíduos sólidos do município de Vargem.

Relatório* (ano publicado)	Agência CETESB	UGRHI	Lixo (t/dia)	Índices de Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR											Enquadramento	TAC ¹	LI ²	LO ³
				2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010				
2004	Campinas II	5	1,1	6,3	6,7	6,1	5,7								Inadequado	sim	sim	sim
2005	Campinas II	5	1,2	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2							Inadequado	sim	sim	sim
2006	Campinas II	5	1,3	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9						Inadequado	sim	sim	sim
2007	Campinas II	5	1,3	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9	4,3					Inadequado	sim	sim	sim
2008	Campinas II	5	1,4	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9	4,3	9,6				Adequado	sim	sim	sim
2009	Atibaia	5	1,1	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9	4,3	9,6	8,3			Adequado	não	não	sim
2010	Atibaia	5	1,1	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9	4,3	9,6	8,3	8,3		Adequado	não	sim	sim
2011	Atibaia	5	1,8	6,3	6,7	6,1	5,7	4,2	4,9	4,3	9,6	8,3	8,3	8,6	Adequado	não	sim	sim

* Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares - CETESB

¹ Termos de Compromisso de Ajustamento de Conduta / ² Licença de Instalação / ³ Licença de Operação

Quadro 12 - Inventário do aterro de resíduos sólidos do município de Joanópolis.

Inventário do município de Joanópolis																		
Relatório* (ano publicado)	Agência CETESB	UGRHI	Lixo (t/dia)	Índices de Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR											Enquadramento	TAC ¹	LI ²	LO ³
				2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010				
2004	Campinas II	5	4,4	3,5	3,4	9,1	9,2								Adequado	sim	sim	sim
2005	Campinas II	5	4,7	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4							Adequado	sim	sim	sim
2006	Campinas II	5	4,8	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1						Adequado	sim	sim	sim
2007	Campinas II	5	4,9	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1	7,6					Controlado	sim	sim	não
2008	Campinas II	5	5,0	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1	7,6	7,5				Controlado	sim	sim	não
2009	Atibaia	5	4,4	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1	7,6	7,5	7,2			Controlado	não	sim	não
2010	Atibaia	5	4,5	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1	7,6	7,5	7,2	9,1		Adequado	não	sim	não
2011	Atibaia	5	4,7	3,5	3,4	9,1	9,2	8,4	8,1	7,6	7,5	7,2	9,1	9,1	Adequado	não	sim	sim

* Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares - CETESB

¹ Termos de Compromisso de Ajustamento de Conduta / ² Licença de Instalação / ³ Licença de Operação

No município de Joanópolis, ocorreu entre os anos de 2006 e 2011 o Projeto de Recuperação de Matas Ciliares (PRMC) na Microbacia hidrográfica do Ribeirão Cancã, onde 16 propriedades rurais tiveram as matas ciliares restaurada. O projeto também incluiu trabalhos de educação ambiental e oficinas para capacitação e conscientização dos agricultores, tendo como agente financiador e parceiros a Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, Banco Mundial, CATI e Fehidro (TERCEIRA VIA, 2012b).

Esta mesma microbacia foi contemplada com o Projeto Produtor de Água, que tem como objetivo promover a conservação dos recursos hídricos através das ações de restauração florestal e de conservação do solo e dos fragmentos florestais já existentes. Trata-se de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA, que conta com a participação de organizações governamentais e não-governamentais. Este projeto teve início em 2009 e tem previsão de término em 2012 (TERCEIRA VIA, 2012a).

Em 2005, a prefeitura de Extrema promulgou a Lei Municipal nº 2.100, de 21 de dezembro de 2005, que regulamenta o Pagamento por Serviços Ambientais relacionados à água e torna oficial o início do Projeto Conservador das Águas. Este projeto não tem data de término e acontece nas Sub-bacias hidrográficas do Ribeirão das Posses e do Salto (Extrema, 2010).

Cabe ressaltar, que a base conceitual dos Projetos Produtor de Água e Conservador das Águas é a mesma e ambos têm os mesmos objetivos (Extrema, 2010):

- aumentar a cobertura vegetal nas bacias hidrográficas participantes;
- reduzir os níveis de poluição difusa, decorrentes dos processos de sedimentação / eutrofização e de falta de saneamento ambiental;
- difundir o conceito de manejo integrado de vegetação, solo e água;
- garantir incentivos fiscais aos proprietários rurais que executarem melhores práticas de manejo da terra e ações de conservação ambiental.

Na pesquisa de gabinete realizada não foi identificada nenhuma área, relacionada aos municípios analisados, nos bancos de áreas degradadas dos Estados de SP e MG e, por consequência nenhum projeto de porte que trata especialmente da recuperação de áreas degradadas.

- *Regularização do tratamento de esgoto*

De acordo com os dados apresentados nos Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – CETESB foi possível identificar a falta de coleta e tratamento de esgoto durante a década de estudo nos municípios de Vargem (SP) e Joanópolis (SP), sendo esta a mesma realidade do município de Extrema (MG), fato

verificado através dos dados apresentados nos Planos de Bacias PCJ 2004-2007 e 2008-2011.

Os dados encontram-se nos Quadros 13, 14 e 15, demonstrando que Joanópolis é o município, entre os analisados nesta pesquisa, que apresenta melhores índices de tratamento de esgoto (96% do total coletado), mas coletando nos últimos sete anos de análise cerca de 54% do esgoto de todo o município, sendo o Rio Jacareí o coletor desses efluentes. O município de Vargem coletou 68% do seu esgoto na maioria dos anos analisados e somente em 2009 que começou a tratar apenas 10% do seu total coletado, todo o restante é despejado *in natura* no Ribeirão da Limeira que é afluente do Rio Jaguari.

O Rio Jaguari também é o destino de todo o efluente do município de Extrema, que até o ano de 2010 não possuiu nenhum tipo de tratamento para o esgoto coletado. Este é o município com o melhor índice de coleta, mas em contra partida, nos anos analisados, apresentou o pior resultado quanto ao tratamento.

- *Licenciamento ambiental*

Os processos de licenciamento ambiental nas esferas municipais e estaduais no Estado de São Paulo eram realizados pelo Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais – DEPRN, Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – DAIA, Departamento de Uso e ocupação do solo Metropolitano – DUSM, juntamente com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, que hoje é chamada de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Desde 2009 a CETESB descentralizou os seus processos em Agências Ambientais Regionais que vieram a ser as únicas responsáveis por emitir ou negar a licença ambiental, de empreendimentos ou atividades potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente, no Estado de São Paulo. Atualmente a Agência Ambiental de Atibaia é a responsável pelo licenciamento nos municípios paulistas de Vargem e Joanópolis.

Esta descentralização também ocorreu no Estado de Minas Gerais, onde em 2003 foi promulgada a Lei nº 62/2003 que estabeleceu a regionalização das entidades vinculadas à SEMAD. Anteriormente a essa data a SEMAD, juntamente com a FEAM, IEF e IGAM, eram as entidades responsáveis pelos processos de licenciamento no Estado. Após 2003 estes processos passaram a ser analisados pelas Superintendências Regionais de Regularização Ambiental – SUPRAMs, sendo a SUPRAM Sul de Minas a responsável pelos procedimentos relativos aos processos de regularização ambiental do município de Extrema.

Quadro 13 – Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Vargem.

Relatório* (ano publicado)	Concessão	População			Atendimento (%)		Eficiência (%)	Carga Poluidora Kg DBO/dia		ICTEM ¹	Corpo Receptor
		Ano	Total	Urbana	Coleta	Tratamento		Potencial	Remanesc.		
2001	Sabesp	2000 - IBGE	6.975	2.611	38	0		141	141		Rib. da Limeira
2002	Sabesp	2000 - IBGE	6.975	2.611	38	0		141	141		Rib. da Limeira
2003	Sabesp	2000 - IBGE	6.975	2.611	66	0		141	141		Rib. da Limeira
2004	Sabesp	2000 - IBGE	6.975	2.611	62	0		141	141		Rib. da Limeira
2005	Sabesp	2000 - IBGE	6.975	2.611	68	0		141	141		Rib. da Limeira
2006	Sabesp	2005 - SEADE	8.240	3.293	68	0		178	178		Rib. da Limeira
2007	Sabesp	2006 - SEADE	8.483	3.390	68	0		183	183		Rib. da Limeira
2008	Sabesp	2007 - SEADE	8.733	3.590	68	0		194	194		Rib. da Limeira
2009	Sabesp	2008 - IBGE	7.092	2.654	68	0		143	143	1	Rib. da Limeira
2010	Sabesp	2009 - IBGE	7.098	2.656	68	10	95	143	134	2,01	Rib. da Limeira
2011	Sabesp	2010 - IBGE	8.941	4.491	68	10	95	243	227	2,09	Rib. da Limeira

* Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo - CETESB

¹ Indicador de coleta e tratabilidade de esgoto da população urbana de municípios

Quadro 14 – Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Extrema.

Plano de Bacias	Município	Concessão	População		Atendimento (%)		Carga Poluidora Kg DBO/dia		Corpo Receptor
			Ano	Urbana	Coleta	Tratamento	Potencial	Remanesc.	
2004 - 2007	Extrema	COPASA	2005	15.399	100	0	832	832	Rio Jaguari
2008 - 2011	Extrema	COPASA	2008	23.540	89,2	0	0,0%	0,0	Rio Jaguari

Quadro 15 – Evolução sobre o tratamento de esgoto sanitário do município de Joanópolis.

Relatório* (ano publicado)	Concessão	População			Atendimento (%)		Eficiência (%)	Carga Poluidora Kg DBO/dia		ICTEM ¹	Corpo Receptor
		Ano	Total	Urbana	Coleta	Tratamento		Potencial	Remanesc.		
2001	Sabesp	2000 - IBGE	10.388	10.388	60	60		561	399		Rio Jacaréí
2002	Sabesp	2000 - IBGE	10.388	10.388	60	60		561	399		Rio Jacaréí
2003	Sabesp	2000 - IBGE	10.388	10.388	55	96		561	324		Rio Jacaréí
2004	Sabesp	2000 - IBGE	10.388	10.388	86	100		561	175		Rio Jacaréí
2005	Sabesp	2000 - IBGE	10.388	10.388	54	96		561	354		Rio Jacaréí
2006	Sabesp	2005 - SEADE	11.686	11.686	54	96		631	369		Rio Jacaréí
2007	Sabesp	2006 - SEADE	11.960	11.960	54	96		646	399		Rio Jacaréí
2008	Sabesp	2007 - SEADE	12.239	12.239	54	96	78	661	394		Rio Jacaréí
2009	Sabesp	2008 - IBGE	11.107	11.107	54	96	78	600	357	5,4	Rio Jacaréí
2010	Sabesp	2009 - IBGE	11.169	11.169	54	96	78	603	359	5,4	Rio Jacaréí
2011	Sabesp	2010 - IBGE	11.872	11.872	54	96	78	641	382	5,38	Rio Jacaréí

* Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo - CETESB

¹ Indicador de coleta e tratabilidade de esgoto da população urbana de municípios

Na esfera federal tem-se como responsável pelos processos de licenciamento o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Independente do órgão todas as análises e decisões são pautadas nas diretrizes expressas na Lei 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97.

- *Políticas urbanas*

A identificação da presença ou ausência de instrumentos de política urbana nos municípios analisados serviu como base para um melhor entendimento da gestão dos recursos hídricos e dos mecanismos utilizados pelo município para ordenar o crescimento urbano e os usos ali presentes.

O Quadro 16 foi elaborado com dados do Plano de Bacias PCJ 2008-2011, demonstrando que nenhum dos três municípios analisados apresenta algum tipo de programa municipal de gestão dos recursos hídricos. O município de Extrema é que apresenta o maior número de instrumentos voltados para gestão urbana municipal. O município de Joanópolis apresenta a menor quantidade de instrumentos estabelecidos, mas cabe lembrar que alguns instrumentos, como o plano diretor, só são obrigatórios a municípios com mais de 20 mil habitantes.

Quadro 16 - Instrumentos de política urbana nos municípios de Extrema, Vargem e Joanópolis.

Municípios	Plano Diretor	Lei Orgânica	Código de Obras	Programa de Gestão Municipal de Recursos Hídricos	Lei de Zoneamento ou equivalente
Extrema (MG)	Presente	Presente	Presente	Ausente	Presente
Vargem (SP)	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente
Joanópolis (SP)	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Presente

Fonte: Plano de bacias PCJ 2008 - 2011

- *Reserva da Biosfera, Unidades de Conservação e seus Planos de Manejo, Gestão e Zoneamento*

A porção paulista da sub-bacia Jaguari e a sub-bacia Jacareí estão inseridas em unidades de conservação de uso sustentável, que são as Áreas de Proteção Ambiental (APA) do Sistema Cantareira, Fernão Dias e a do Rio Piracicaba e Juqueri-Mirim Área II. A porção mineira da sub-bacia Jaguari (parte do município de Extrema-MG) está

inserida na APA Fernão Dias (Figura 51), que abrange integralmente os municípios de Camanducaia, Extrema, Gonçalves, Itapeva, Sapucaí-Mirim e Toledo, e parte dos municípios de Brasópolis e Paraisópolis, na região sul do Estado de Minas Gerais, junto à divisa com o Estado de São Paulo. A APA foi criada pelo Decreto nº 38.925, do Governo Estadual de Minas Gerais, em 17 de julho de 1997, como sugestão dos Estudos de Impacto Ambiental do Projeto de Duplicação da BR-381 - Rodovia Fernão Dias, a fim de minimizar os efeitos decorrentes deste empreendimento rodoviário (IBITU, 1998).

Figura 51 - Área de Proteção Ambiental Fernão Dias. Fonte: Plano de Gestão da APA Fernão Dias (2008).

A portaria nº 16, de 26 de fevereiro de 2009, do Instituto Estadual de Florestas – IEF de Minas Gerais dispõe sobre a criação do Conselho Consultivo desta Unidade de Conservação. A Área de Proteção Ambiental Fernão Dias foi regulamentada em 2009 pela aprovação do seu Plano de Gestão que está dividido em 3 partes: diagnóstico, zoneamento e programas de auxílio ao planejamento da APA.

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Sistema Cantareira (Figura 52), uma UC que foi instituída pela Lei Estadual nº 10.111, de 04 de dezembro de 1998, abrange a totalidade dos municípios paulistas de Mairiporã, Atibaia, Nazaré Paulista, Piracaia,

Joanópolis, Vargem e Bragança Paulista. Com uma área de 249.200 ha, esta UC se sobrepõe com cerca de 97.300 ha do seu território a APA do Rio Piracicaba e Juqueri-Mirim Área II. O objetivo desta UC é garantir a conservação do conjunto paisagístico e da cultura regional e a manutenção e melhoria da qualidade da água, especialmente nos municípios do entorno dos reservatórios do Sistema Cantareira (SÃO PAULO, 2000).

A APA do Rio Piracicaba / Juqueri-Mirim Área II (Figura 55) possui uma área de 280.330 ha dos quais 97.300 ha incidem sobre a área do Sistema Cantareira e da APA que leva o seu nome. Foi criada pelo Decreto Estadual nº 26.882, de 11 de março de 1987 e pela Lei Estadual nº 7438 de 06 de julho de 1991, abrangendo os municípios de Amparo, Bragança Paulista, Campinas, Holambra, Jaguariúna, Joanópolis, Monte Alegre do Sul, Morungaba, Nazaré Paulista, Pedra Bela, Pedreira, Pinhalzinho, Piracaia, Santo Antonio da Posse, Serra Negra, Socorro, Tuiuti e Vargem.

A gestão das APAs do Rio Piracicaba / Juqueri-Mirim Área II e do Sistema Cantareira é feita de maneira compartilhada. A Portaria da Fundação Florestal do Estado de São Paulo nº 003, de 11 de janeiro de 2009, dispõe sobre a constituição do Conselho Gestor e cadastramento da sociedade civil da APAs Piracicaba/Juqueri-Mirim área II, Sistema Cantareira e Bairro da Usina para o primeiro biênio (2009-2011) de gestão. O Conselho Gestor das APAs Piracantareira tomou posse em 09 de junho de 2009.

Figura 52 - Áreas de Proteção Ambiental Piracicaba – Juqueri-Mirim Área II e do Sistema Cantareira. Fonte: SMA (1998).

A área paulista da sub-bacia Jaguari (município de Vargem-SP) e a sub-bacia Jacaré também estão inseridas na zona de amortecimento e conectividade da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade São Paulo, sendo este projeto parte integrante da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, mas com objetivos mais específicos, devido às necessidades e peculiaridades na gestão da Região Metropolitana de São Paulo (RBCV, 2011).

- *Comitê de Bacia Hidrográfica*

Para a Agência Nacional das Águas – ANA “os Comitês de Bacia Hidrográfica vêm se consolidando como o espaço em que as decisões sobre os usos da água são tomadas” (ANA, 2011, p. 71). Neste contexto, pontua-se o pioneirismo e avanço dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ) e o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba e Jaguari (CBH-PJ) na implantação das estruturas e dos instrumentos de planejamento e gestão de recursos hídricos na região onde as sub-bacias Jaguari e Jacaré estão inseridas (ZUCA, 2010).

O Comitê PCJ Federal foi criado pela Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/97), o CBH-PCJ estadual paulista pela Lei Paulista nº 7.663/91 e o CBH-PJ pela Lei Mineira nº 13.199/99 (Comitês PCJ, 2012), constituindo três comitês que formam uma estrutura organizacional e funcional em conjunto, promovendo a participação do poder público, dos usuários e da comunidade no gerenciamento hídrico, atuando como um parlamento nestas bacias hidrográficas.

- *Agência de água (agência de bacia)*

Outro organismo que participa da gestão dos recursos hídricos é a Agência de Água, chamadas assim quando refere-se à gestão de rios de domínio da União, e Agências de Bacia, quando participa da gestão de rios em esferas estaduais. As Agências foram criadas com a finalidade de prestar apoio ao funcionamento dos Comitês de Bacia, sendo responsáveis pelo gerenciamento dos recursos financeiros advindos da cobrança pelo uso da água (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2012).

A Lei Federal 10.881/04 autoriza a Agência Nacional das Águas - ANA a estabelecer contratos de gestão de recursos hídricos de domínio da União e, é

responsável pela gestão dos rios das Bacias PCJ neste domínio. Já nas esferas estaduais, é o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí que esteve à frente da Agência PCJ durante 5 anos, sendo que esta foi inaugurada em dezembro de 2005, após a aprovação da cobrança do uso da água.

Em 24 de janeiro de 2011, o Consórcio PCJ transformou a Agência de Águas PCJ na Fundação Agências de Bacia PCJ. Segundo a ANA, em sua publicação “Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2010”, esta decisão de eleger uma fundação ao invés de um consórcio de direito público para exercer as funções de uma Agência de Bacia (agência de água) impossibilitou “o repasse de recursos oriundos da cobrança pelo uso da água em rios de domínio do estado de Minas Gerais, visto que a legislação mineira não permite a equiparação de fundações de direito privado às agências de água” (ANA, 2010, p. 43). Sendo assim, continua o Consórcio PCJ nas funções de Agência de Bacia na porção mineira das Bacias PCJ, tornando a Agência de Bacia PJ (REVISTA TAE, 2011).

- *Plano de Bacia*

O plano de bacia é um instrumento de gestão dos recursos hídricos que procura compreender e compatibilizar a disponibilidade deste recurso natural, buscando relacionar a oferta e a demanda de água de uma bacia hidrográfica. As leis (nível federal) nº 9.433/97 e (nível estadual) nº 7.663/91 determinam a elaboração de planos de bacia para o auxílio na gestão das águas (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2012).

Durante os anos analisados por esta pesquisa foram realizados três Planos de Bacias para as Bacias Hidrográficas PCJ, sendo eles:

- Plano de Bacia PCJ 2000 – 2003
- Plano de Bacia PCJ 2004 – 2007
- Plano de Bacia PCJ 2008 - 2011

Vale ressaltar que a porção mineira da Bacia PCJ (Bacia PJ) só começou a ser efetivamente inserida nos planos de bacia a partir do Plano de Bacia PCJ 2004 – 2007, com um acompanhamento e discussões mais efetivas da disponibilidade hídrica desta região de cabeceiras dos rios formadores destas bacias.

- *Outorga*

A outorga é um dos instrumentos de gestão que tem a função de autorizar ou

conceder o direito de uso ou interferência nos recursos hídricos (ANA, 2012). Nos rios de domínio do Estado de São Paulo, como os presentes nos municípios de Vargem e Joanópolis, é o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE que tem o poder de outorgar, através da Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991 e do Decreto Estadual 41.258, de 31 de outubro de 1996.

Nos rios de domínio do Estado de Minas Gerais, como parte da sub-bacia Jaguari, o órgão que concede a outorga é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, sobre os preceitos da Lei Estadual 13.199 de 1999, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e da Portaria IGAM nº 49 de 2010, que dispõe sobre o regime de Outorgas de Direitos de Uso dos Recursos Hídricos. Já nos rios de domínio da União, é a Agência Nacional de Águas – ANA, seguindo os princípios da Lei nº. 9.984, de 17 de julho de 2000.

Zuca (2010), em seu trabalho sobre vulnerabilidade ambiental nas Bacias PCJ, afirma que a outorga é um instrumento que busca proporcionar resiliência em uma bacia hidrográfica e as concedidas pelo DAEE, utilizadas em sua pesquisa, apresentaram-se um tanto quanto incoerentes. Este fato é descrito pelo motivo que os dados utilizados na gestão destas bacias apresentaram algumas falhas, como dados errados e dados que estão faltando, causando inconsistência no banco de dados de outorga. Outro fato é que as outorgas são concedidas por municípios e não por bacias hidrográficas, que é apropriado quando se realiza a gestão dos recursos hídricos.

- *Fiscalização*

O Poder Público tem o papel de controlar, fiscalizar e administrar os recursos naturais e as licenças concedidas para o seu uso (DAEE, 2011). Além das secretarias estaduais / municipais e dos órgãos que concederam o direito de uso ou interferência no recurso natural, há organismos governamentais destinados especialmente a fiscalizar e controlar esses recursos, como no Estado de Minas Gerais onde foi implementada a Superintendência de Fiscalização Ambiental Integrada. Esta superintendência é formada por várias diretorias que buscam planejar, organizar e executar atividades de controle e fiscalização do uso dos recursos naturais e de combate à poluição, definidas na legislação federal e estadual. As diretorias são: diretoria de Estratégia em Fiscalização, diretoria de Fiscalização de Recursos Hídricos e Atmosféricos e do Solo, diretoria de Fiscalização dos Recursos Florestais e diretoria de Fiscalização da Pesca e cabe ao Núcleo Fiscalização Sul de Minas os procedimentos referentes ao município de Extrema

(SEMAD, 2011).

No Estado de São Paulo ocorre esta mesma estrutura, onde os órgãos que concede a licença também têm por obrigação a fiscalização e autuação, como a CETESB e o DAEE, por exemplo, além de departamentos e secretarias que estão dispostos a executar este ato, como apresentado no Decreto Estadual nº 54.653, de 06 de agosto de 2009.

- *Monitoramento dos rios*

De acordo com os dados apresentados por Whatley & Cunha (2007) e nos Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – CETESB, há quatro pontos de monitoramento dos corpos hídricos nas sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí, sendo três de responsabilidade da SABESP e um da CETESB. Na porção mineira da sub-bacia Jaguari não há pontos de monitoramento instalados no período deste estudo. No Quadro 17 e na Figura 53 constam informações sobre os pontos de monitoramentos e suas localizações nas sub-bacias.

Cabe ressaltar, que os dados e informações quanto ao tipo e a periodicidade do monitoramento realizado não foram disponibilizados a esta pesquisa, sendo que só a presença do ponto de monitoramento não garante a realização de um monitoramento adequado.

Quadro 17 - Pontos de monitoramento dos corpos hídricos nas sub-bacias Jaguari e Jacareí.

Responsável	Código do ponto	Corpo Hídrico	Local de amostragem	Município	Início da amostragem
CETESB	JAGR 00002** ¹	Rio Jaguari	Ponte sobre o Rio Jaguari, no Km 2 (Sub-bacia Jaguari)	Vargem	01/05/2004
SABESP	JJ 206** ¹	Rio Jaguari	Ponte sobre o Rio Jaguari, no Km 2 (Sub-bacia Jaguari)	Vargem	No ano de 2000 já apresentavam coletas
SABESP	JJ 208** ¹	Rio Jacareí	Rio Jacareí (Sub-bacia Jacareí)	Joanópolis	
SABESP	JC 105** ¹	Reservatório Jaguari/Jacareí	Entrada do Reservatório Jaguari/Jacareí (limite da Sub-bacia Jacareí)	Joanópolis	

* Tipo de Monitoramento: Rede Básica.

** Não há informação quanto ao tipo de monitoramento.

¹ Não há informação quanto a periodicidade dos monitoramentos.

Figura 53 – Mapas de localização dos pontos de monitoramentos dos corpos hídricos nas sub-bacias hidrográficas Jaguarí e Jacaréi. Organizada por Giovana Dominicci Silva.

- *Enquadramento dos corpos d'água*

Segundo a Agência Nacional de Águas (2012),

O enquadramento de corpos d'água estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo. Mais do que uma simples classificação, o enquadramento deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve tomar como base os níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade e não apenas a condição atual do corpo d'água em questão.

Os rios que compõe a Bacia Hidrográfica PCJ, onde as sub-bacias Jaguarí e Jacaréi estão inseridas, foram enquadrados seguindo a Resolução do Conselho

Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 e os Decretos Estaduais Paulista nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 e nº 8.468 de 08 de setembro de 1976.

Os rios das sub-bacia Jaguari encontram-se enquadrados nas Classes 1 e 2 e os da sub-bacia Jacareí na Classe 1, conforme a Figura 54. Segundo o Relatório Zero do CBH-PCJ, as águas enquadradas na Classe 1 são destinadas (CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005):

- ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)
- à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam consumidas cruas, sem remoção de película;
- à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

E os rios que foram enquadrados na Classe 2 são destinados (CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005):

- ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)
- à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Segundo o artigo 42 da resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 os rios que não foram enquadrados ou os seus enquadramentos não foram aprovados considera-os alocados na classe 2.

Figura 54 – Mapas do enquadramento dos corpos hídricos nas sub-bacias hidrográficas Jaguarí e Jacaré. Organizada por Giovana Dominicci Silva.

- *Cobrança pelo uso da água*

A Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, traz como um de seus instrumentos a cobrança pelo uso da água, cujos objetivos são:

- I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- II - incentivar a racionalização do uso da água;
- III - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Segundo John & Marcondes (2010) o Comitê PCJ Federal foi o segundo no país a implementar a cobrança, que começou em janeiro de 2006 nos rios de domínio da União da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. O Estado de São Paulo instituiu este instrumento por meio da Lei Estadual nº 12.183, de 29 de dezembro de 2005 e sendo em 2007, por meio de lei e decreto, foi autorizada a cobrança nos rios

paulistas da Bacia PCJ. No Estado de Minas Gerais a cobrança pelo uso da água foi estabelecida pelo Decreto Estadual nº 44.046, de 13 de junho de 2005, mas só em 2009 foi aplicada aos rios da Bacia PJ que são de domínio do Estado.

- *Legislações*

No decorrer deste capítulo já foram destacadas algumas das principais leis, resoluções e decretos que permeiam a gestão das sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí. Este item não teve a preocupação de listar todas as legislações municipais, estaduais e federais incisivas ao tema e as localidades aqui retratadas. Procurando apenas observar se, no geral, as legislações já existentes oferecem o arcabouço legal necessário para manter bons níveis de resiliência e por consequência, uma boa qualidade ambiental desses locais.

Cabe pontuar algumas legislações ainda não citadas e que são pertinentes ao tema, como: a Lei Estadual (Estado de São Paulo) nº 9.866, de 28 de novembro de 1997 (que estabelece mecanismos de proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais do Estado de São Paulo), o Código Florestal, a Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (que pontua diretrizes para o saneamento básico) e a Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica).

Quando se trata especificamente da gestão dos recursos hídricos, nota-se que entre os anos de 2000 e 2010 houve um avanço na legislação referente à gestão deste recurso. De modo que a Agência Nacional das Águas (2002) relata que foi nos Estados ou nas regiões brasileiras com maiores conflitos de uso da terra e problemas referentes à disponibilidade hídrica que ocorreram os maiores avanços na legislação. Estes progressos se deram em maiores dimensões nas bacias hidrográficas localizadas nas regiões nordeste, sul e sudeste (TUNDISI & SCHEUENSTUHL, 2012), tendo esta última o destaque pelo trabalho e atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ).

Desta forma, pode-se considerar que a legislação aplicada a estas sub-bacias, referindo-se a temática deste trabalho, é uma das mais abrangentes e avançadas, apresentando ferramentas necessárias para estabelecimento de uma boa qualidade nos sistemas naturais.

As descrições dos principais mecanismos e instrumentos de gestão relacionados

aos recursos hídricos e aos usos e ocupação do solo apresentadas neste capítulo, vêm de maneira a entender qual é a agenda de resiliência presente nas sub-bacias hidrográficas do Jaguari e Jacareí, compreendendo quais são os mecanismos e instrumentos presentes na gestão dessas localidades. Quanto mais completa e estruturada for à agenda, maiores serão as possibilidades de haver um ambiente menos vulnerável e mais resiliente.

Neste contexto, percebe-se que as sub-bacias hidrográficas Jaguari e Jacareí estão inseridas em uma região pioneira na inserção e na estruturação de alguns mecanismos de gestão dos recursos hídricos, como por exemplo, a implementação dos comitês de bacia, de projetos de PSA sobre recursos hídricos e da cobrança pelo uso da água nas Bacias Hidrográficas PCJ. Mesmo quando o recorte analisado se transfere para as Bacias PCJ, percebe-se diferenças no estabelecimento desses mecanismos entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, sendo o último, muitas vezes, o precursor na gestão destas localidades.

Também foi possível observar algumas lacunas nos mecanismos de gestão selecionados para a análise da resiliência deste trabalho, como:

- Deficiência no tratamento dos efluentes municipais;
- Os projetos de PSA que visam à melhoria ambiental de bacias hidrográficas não estão alocados nos corpos hídricos principais das bacias, fazendo com que a melhora ambiental ocorrida nos afluentes não seja percebida, pois é diluída na baixa qualidade ambiental do corpo hídrico principal;
- Falhas na gestão e na implementação de políticas que favoreçam o estabelecimento da resiliência ambiental nos municípios presentes nesta pesquisa;
- Ausência de Unidades de conservação mais restritivas e demora na regulamentação das existentes;
- Deficiência no monitoramento dos rios a montante do Reservatório Jaguari/Jacareí, principalmente no Estado de Minas Gerais e na Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí;
- Incompatibilidade entre os usos e interferências presentes com as classes em que os rios estão inseridos, pensando que estes corpos hídricos são os responsáveis pela formação do Sistema Cantareira e, assim pelo abastecimento público de milhões de pessoas;
- Demora na inserção da região mineira das Bacias PCJ na gestão dos comitês e agências;
- Dificuldades de acesso às informações e dados utilizados na gestão dessas

localidades.

Assim, considera-se que estes fatos pontuados podem ter alguma relação com o fato que metade das sub-bacias Jaguari e Jacareí estão inseridas no mais alto nível de vulnerabilidade ambiental e sendo também, esta a realidade do entorno dos rios. A região onde as sub-bacias se encontram apresentam importantes mecanismos indutores de resiliência, não descartando que a grande deficiência na gestão dessas localidades fica em torno da ausência do saneamento básico, de Unidades de Conservação mais restritivas e da inserção de instrumentos na política urbana municipal que vise uma convivência harmônica entre os processos de urbanização com a conservação dos recursos naturais, buscando índices positivos de qualidade ambiental nestas localidades.

Neste contexto, destaca-se como importantes ferramentas para a diminuição do estado da vulnerabilidade ambiental, a inserção de objetivos nos planejamentos municipais que contemple uma melhoria ambiental, através da inserção de mecanismos que vise à conservação e a recuperação do ambiente e também de instrumentos de monitoramento e acompanhamentos dos índices ambientais municipais. A inserção da temática ambiental na gestão e no planejamento municipal só vem a colaborar com a melhoria ambiental, resultando em um desenvolvimento harmônico destes sistemas sócio-ambientais.

8. CONCLUSÕES

De acordo com os dados e as análises apresentadas neste trabalho pode-se concluir que a análise do fator de exposição colaborou em entender a dinâmica territorial das sub-bacias Jaguari e Jacareí, sendo que no período analisado houve diferenças na exposição entre as sub-bacias em função do uso e ocupação do solo presentes. A sub-bacia Jaguari vem apresentando um perfil de exposição baseado em usos urbanos e na sub-bacia Jacareí o aumento da exposição ocorreu, em sua maioria, devido aos usos rurais.

As sub-bacias em questão apresentaram grande parte do seu território inseridos em altos níveis de fragilidade ambiental, sendo este fato determinado pela suscetibilidade à erosão (sensibilidade natural desses sistemas) e pela ausência de áreas cobertas por vegetação natural. Apesar de ter ocorrido supressão de cobertura vegetal, houve áreas que foram revegetadas, tendo estas porcentagens maiores que as desmatadas e sendo a presença de vegetação natural nas sub-bacia Jaguari e Jacareí um dos fatores determinantes na diminuição da fragilidade e vulnerabilidade ambiental.

Em relação à vulnerabilidade ambiental, ambas as sub-bacias apresentaram-se altamente vulneráveis. Quantitativamente esta vulnerabilidade é semelhante, mas com aspectos e fatores diferenciados, ou seja, os altos níveis de vulnerabilidade apresentados na sub-bacia Jaguari são consequência, em sua maioria, de incrementos urbanos. Mesmo esta sub-bacia tendo uma diminuição da exposição gerada pelos usos rurais, a exposição quanto aos usos urbanos e suas consequências foram determinantes para o alto índice de vulnerabilidade. A exposição derivada dos usos rurais e dos altos índices de fragilidade ambiental determinaram o estado altamente vulnerável da sub-bacia Jacareí.

As análises também demonstraram que a aproximação realizada no entorno dos rios, foi importante de maneira a comprovar que estas localidades na sub-bacia Jaguari e na Jacareí encontram-se altamente frágeis e vulneráveis, como o restante de suas sub-bacias e, que nestas localidades não ocorrem nenhum tipo de ação especial para a sua proteção e/ou gerenciamento, mesmo as sub-bacias estando inseridas em uma região pioneira e com alta incidência de instrumentos de resiliência ligados principalmente à gestão dos recursos hídricos.

Ressalta-se que, como contribuição metodológica, o modelo empregado permitiu a análise temporal da vulnerabilidade ambiental, evidenciando seus fatores geradores e as relações existentes entre eles, estando claro que suas vantagens e desvantagens

estão associadas necessariamente à existência e/ou a disponibilização de informação. Mesmo este modelo apresentando algumas lacunas, ele demonstrou-se um bom instrumento de orientação à tomada de decisão, baseando-se em características físicas e naturais, juntamente com a variação dos usos e ocupação do solo, além de fornecer uma base para o entendimento do processo de apropriação dessas localidades.

Percebeu-se que se utilizar esta mesma estrutura funcional, este modelo pode apresentar resultados ainda melhores se aplicados a bacias hidrográficas e não a sub-bacias e a microbacias, como aqui utilizado. Este aumento no recorte, pode melhor acomodar, na análise geoambiental, à inserção dos fatores responsáveis por gerar resiliência a este sistema ambiental, proporcionando assim, uma análise espacializada de todos os fatores que compõe a vulnerabilidade.

Este modelo de análise e síntese pode ser moldado e adaptado às características ambientais, sociais e econômicas do objeto de estudo, propriedade que promove sua aplicação em diferentes arranjos territoriais, como municípios, estados, regiões administrativas, etc. Esta flexibilidade e a facilidade de aplicação o tornam viável a pequenas instituições que buscam de maneira simplificada realizar um diagnóstico ambiental de uma área.

Desta forma, esta pesquisa permitiu evidenciar a análise da vulnerabilidade ambiental como um instrumento de gestão de bacias hidrográficas, e sendo este o recorte territorial adequado para a realização de um gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Espera-se também que o modelo de análise aqui utilizado sirva como base para a realização de outros estudos que tenham em seus princípios a garantia da qualidade ambiental e de uma gestão descentralizada para este importante recurso natural.

9. REFERÊNCIAS

ADGER, W.N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268–281, 2006.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006.

ANA - Agência Nacional das Águas. **A evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA. 2002.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2010**. Brasília: ANA, 2010.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2011**. Brasília: ANA, 2011.

_____. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2011.

_____. **Gerência de Outorga**. Disponível em:
< <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx> >
Acesso em: 17 fev 2012.

ANTONIAZZI, L. B. **Agricultura como provedora de serviços ambientais para proteção de bacias hidrográficas**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, 2008.

BALTRUSIS, N.; D'OTTAVIANO, M. C. L. **Ricos e pobres, cada qual em seu lugar: a desigualdade socio-espacial na metrópole paulistana**. SciELO, Salvador, Cad. CRH, vol.22, nº.55. 2009.

BARBOSA, Y. B.; LORANDI, R. Estudo de vulnerabilidade da bacia do ribeirão do Pântano: ênfase ao tema geologia. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM, 2009, São Carlos. **Anais eletrônicos**. São Carlos: AUGM, 2009. Disponível em:

<<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-044.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2010.

BOURSCHEIT, A. **Longe da água**. O Eco, 2010. Disponível em: < <http://www.oeco.com.br/reportagens/23354-longe-da-agua> >. Acesso em: 10 fev 2011.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm > Acesso em: 12 dez 2011.

_____. **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, regulamenta 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. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm > Acesso em: 10 jan 2012.

_____. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm > Acesso em: 07 dez 2011.

_____. **Lei nº 10.881, de 9 de junho de 2004**. Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatórias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/antigo/download/lei10881.pdf> > Acesso em: 22 fev 2012.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. 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. Disponível em:

< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm > Acesso em: 28 jun 2012.

Bundesamt für Naturschutz - BfN. **Gewässer und Auen**. Disponível em: < <http://www.bfn.de/> >. Acesso em: 17 nov 2011.

CBH-PCJ - Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Histórico do CBH-PCJ**. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm> > Acesso em: 10 fev 2012.

_____. **Plano de Bacias PCJ 2004-2007**. Disponível em: < http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PB/PB0407_Relatorio-Completo.pdf > Acesso em: 04 jan 2012.

CEI - Centro de Estatísticas e Informações / Fundação João Pinheiro do Governo de Minas Gerais. **Indicadores econômicos**. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/> > Acesso em: 03 nov 2011.

CETEC - Centro tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. **Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí UGHRI 5 (Relatório Zero)**. São Paulo: Comitê PCJ, 2000.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2003**. São Paulo: CETESB, 2004.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2004**. São Paulo: CETESB, 2005.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2005**. São Paulo: CETESB, 2006.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2006**. São Paulo: CETESB, 2007.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2007.** São Paulo: CETESB, 2008.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2008.** São Paulo: CETESB, 2009.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2009.** São Paulo: CETESB, 2010.

_____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2010.** São Paulo: CETESB, 2011.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2000.** São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2001.** São Paulo: CETESB, 2002.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2002.** São Paulo: CETESB, 2003.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2003.** São Paulo: CETESB, 2004.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2004.** São Paulo: CETESB, 2005.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2005.** São Paulo: CETESB, 2006.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2006.** São Paulo: CETESB, 2007.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2007.** São Paulo: CETESB, 2008.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2008**. São Paulo: CETESB, 2009.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2009**. São Paulo: CETESB, 2010.

_____. **Relatórios de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo – 2010**. São Paulo: CETESB, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 3. ed, 2004.

CONAMA. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 10 fev. 2012.

_____. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em: 01 mar 2012.

_____. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 08 fev. 2012.

COSTA, T. C. C.; UZEDA, M. C.; FIDALGO, E. C.C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P. (2007). **Vulnerabilidade ambiental em sub-**

bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.03/doc/2493-2500.pdf>>.

Acesso em: 15 mar 2010.

DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica. **Conceitos**. Disponível em: < http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=68%3Aoutorgas&catid=41%3Aoutorga&Itemid=30 > Acesso em: 05 dez 2011

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. 192f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

DPI/INPE - Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> > Acesso em: 14 jan 2011.

DREW, D. **Processos Interativos Homem – Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

EAKIN, H.; LUERS, A. L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. **Annual Review of Environmental Resources**. Vol 31, 364-94, 2006.

EXTREMA (MG). **Lei nº 2.100, de 21 de dezembro de 2005**. Cria o Projeto Conservador das Águas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camaraextrema.mg.gov.br/html/leis/leis_2005/lei_2100_21dez05.pdf >

Acesso em: 11 dez 2011.

_____. **Conservador das Águas**. Extrema. 2010.

FADINI, A. A. B. **Sustentabilidade e Identidade Local: pauta para um planejamento ambiental participativo em sub-bacias hidrográficas da região bragantina**. 2005.

204f. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Minas sem Lixões**. < <http://www.feam.br> > Acesso em: 2012

FERNANDEZ, F. **O Código Florestal e a conservação**. O Eco, 2010. Disponível em: < <http://www.oeco.com.br/fernando-fernandez/24179-o-codigo-florestal-e-a-conservacao-da-biodiversidade> >. Acesso em: 10 fev 2011.

FERREIRA, J. A. **Vulnerabilidade sócio-ambiental de espaços socialmente marginalizados em áreas urbanas: caso da Vila dos Teimosos em Campina Grande-PB**. 2007. 109f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

FIGUEIREDO, D. M. **Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e de estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso)**. 2007. 270f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

FIGUEIREDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F. M.; MIRANDA, S. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Fundação Agência das Bacias PCJ. **Agências das Bacias PCJ e Comitês PCJ: conheça as entidades que atuam nas bacias PCJ**. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/novo/images/stories/folder-pcj.pdf> > Acesso em: 08 fev 2012.

_____. **Instrumentos de Gestão – Plano de Bacias**. Disponível em: < <http://www.agenciapcj.org.br/novo/plano-de-bacias.html> > Acesso em: 08 fev 2012.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Portaria de 11 de janeiro de 2009**. Dispõe sobre a constituição do Conselho Gestor e cadastramento da sociedade civil da APAs Piracicaba/Juqueri-Mirim área II, Sistema Cantareira e Bairro da Usina, biênio 2009-2011, e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.fflorestal.sp.gov.br/hotsites/hotsite/index.php?hotsite=62f28399b741017959dc2713083adf3c>> Acesso em: 07 fev 2012.

HAES, H. A. U.; KLIJN, F. Environmental policy and ecosystem classification. In: KLIJN, F. (Ed.). **Ecosystem classification for environmental management**. 2nd ed. London: Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 1992.

HOEFFEL, J. L. M. **Trajetórias do Jaguar. Unidades de Conservação, Percepção Ambiental e Turismo. Um estudo na APA do Sistema Cantareira**. Relatório Final de Pesquisa FAPESP (Processo nº 2003/08432-5), 2006.

HOEFFEL, J. L. M.; FADINI, A. A. B.; BARBOSA, J. E. C.; FERMINO, E. S. Jaguar mineiro: usos e ocupação do solo e impactos socioambientais. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro - SP, ano VIII, v. 8, n. 3, p. 140-159, 2008.

HOEFFEL, J. L. M.; FADINI, A. A. B.; BARBOSA, J. E. C.; FERMINO, E. S.; CAROLLO, E. R. D. Identification and characterization of socio – environmental impacts in the Jaguar river watershed basin (Minas Gerais Area). In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Orgs). **Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil**. vl. 4, Jagurão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa, UNIKASSEL, PG Cult – UFMA, 2012.

HOEFFEL, J. L. M.; MACHADO, M. K.; FADINI, A. A. B.; LIMA, F. B. **Concepções e percepções da natureza na Área de Proteção Ambiental do Sistema Cantareira**. Anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Curitiba: FBPN, vol.I, p. 346-356, 2004.

HONG, B.; LIMBURG, K. E.; HALL, M. H.; MOUNTRAKIS, G.; GROFFMAN, P. M.; HYDE, K.; LUO, L.; KELLY, V. R.; MYERS, S. J. An integrated monitoring/modeling framework for assessing human–nature interactions in urbanizing watersheds: Wappinger and Onondaga Creek watersheds, New York, USA. **Environmental Modelling & Software**. Vol. 32, p.1–15. 2012.

IBITU CONSULTORIA AMBIENTAL. **APA Fernão Dias – Plano de Gestão Ambiental**. Belo Horizonte: IBITU/DER-MG, v. 1, 1998.

INGRAM, J. C.; FRANCO, G.; RIO, C. R.; KHAZAI, B. Post-disaster recovery dilemmas: challenges in balancing short-term and long-term needs for vulnerability reduction. **Environmental science & policy**. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital do Brasil** - **2005**. Rio de Janeiro: DGC/DECAR. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=040206&item=14>> Acesso em: 05 jun 2011.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª Ed. 2006.

_____. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 03 nov 2011.

JOHN, L.; MARCONDES, P. **O Valor da Água**. São Paulo: Camirim Editorial, 2010.

KASPERSON, R. E., K. DOW, E. R. M. ARCHER, D. CÁCERES, T. E. DOWNING, T. ELMQVIST, S. ERIKSEN, C. FOLKE, G. HAN, K. IYENGAR, C. VOGEL, K. A. WILSON, AND G. ZIERVOGEL. **Vulnerable people and places**. In: HASSA, C.; WILSON, K. A.; ZIERVOGEL, G. Ecosystems and human well-being: current state and trends assessment. Millennium Ecosystem Assessment. Washington, D.C: Island Press, 2005.

KAZTMAN, R. **Activos y estructura de oportunidades: estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad social en Uruguay**. Montevideo: CEPAL – UNDP, 1999.

KUMPULAINEN, S. Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. **Geological Survey of Finland**, Special Paper 42, p.65–74, 2006.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LUERS, A., LOBELL, D., SKLAR, L.S., ADDAMS, C.L., MATSON, P.M. A method for quantifying vulnerability, applied to the Yaqui Valley, Mexico. **Global Environmental Change**. vol 13, p. 255–267. 2003.

LUTHE, T. **Vulnerability to global change and sustainable adaptation of ski tourism - SkiSustain**. Zurich – German: INOK. vol 25. 2009.

MANTOVANI, M.; SANTOS, R. F. Vegetação, vulnerabilidade e qualidade ambiental. In: SANTOS, R. F. (org). **Vulnerabilidade Ambiental – Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA. 2007.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v.22, n.1, p.29-53, 2005.

METZGER, J. P. O código florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, 8:92-99, July, 2010.

MINAS GERAIS. **Plano de Gestão da Área de Proteção Ambiental Fernão Dias**. Belo Horizonte: SEMAD, IEF, DER/MG. 2008

_____. **Decreto nº 38.925, de 17 de julho de 1997**. Declara de proteção ambiental áreas de interesse ecológico situadas nas bacias hidrográficas dos Rios Jaguari, Sapucaí-Mirim e Sapucaí, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1473>> Acesso em: 15 fev 2012.

_____. **Decreto nº 44.046, de 13 de Junho de 2005**. Regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=4771>> Acesso em: 22 fev 2012.

_____. **Lei nº 62, de 29 de janeiro de 2003.** Dispõe sobre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5301> > Acesso em: 08 fev. 2012.

_____. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999.** Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309> > Acesso em: 27 dez 2011.

_____. **Portaria nº 16, de 26 de fevereiro de 2009.** Dispõe sobre a criação do Conselho Consultivo da Área de Proteção Ambiental Estadual Fernão Dias. Disponível em: < <https://sites.google.com/site/apafernaodias/conselho-consultivo/portarias-de-criacao-do-conselho> > Acesso em: 17 fev 2012.

_____. **Portaria nº 49, de 01 de julho de 2010.** IGAM estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13970> > Acesso em: 07 jan 2012.

MORETTO, E. M.; SILVA, G. D.; ROQUETTI, D. R.; ZUCA, N. L. A vulnerabilidade ambiental como propriedade sistêmica emergente: subsídios conceituais para o planejamento e a gestão de recursos hídricos. In: JACOBI, P. R. (Org.). **Gestão de Recursos Hídricos e Aprendizagem Social.** São Paulo. 2012. No prelo.

NETTO, A. L. C.; AVELAR, A. S. O uso da terra e a dinâmica hidrológica: comportamento hidrológico e erosivo de bacias de drenagem. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

ODUM, E. P., BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia.** São Paulo: Thonson Learning (Pioneira), 2007.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Development, measurement and use**. Paris: OECD, 2003.

PADUA, S. **O que são serviços ambientais?** O Eco, 2006. Disponível em: < <http://www.oeco.com.br/suzana-padua/18255-oeco19816> >. Acesso em: 09 fev 2011.

PADUA, S.; PADUA, C.; DITT, E.; ALMEIDA, T. **O Código Florestal é capaz de nos deixar sem água**. O Eco, 2011. Disponível em: <<http://www.oeco.com.br/suzana-padua/25289-o-codigo-florestal-e-capaz-de-nos-deixar-sem-agua>>. Acesso em: 10 fev 2011.

PIZARRO, R. La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. **Série Estudios estadísticos y prospectivos**, Chile: CEPAL, v.6, 2001.

Plano de Bacias PCJ 2008-2010. Disponível em: < <http://www.agenciadeaguapcj.org.br/download/PB-2008-2011.pdf> >. Acesso em: 04 jan 2012.

PLATIAU, A. F. B.; SAYAGO, D. A. V.; NASCIMENTO, E. P.; MOTA, J. A.; DRUMMOND, L. M.; DUARTE, L. M. G.; WEHRMANN, M. E. S. F.; BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A.; LITTLE, P. E.; THEODORO, S. H. **Uma crise anunciada**. In: THEODORO, S. H. (Org.). Mediação de conflitos socioambientais. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

PRADO, H. **Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2010a. Disponível em: <<http://www.pedologiafacil.com.br/videos.php>>. Acesso em: 15 jan 2011.

_____. **Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2010b. Disponível em: <<http://www.pedologiafacil.com.br/videos.php>>. Acesso em: 15 jan 2011.

RBCV - Reserva da Biosfera do Cinturão Verde. **Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/rbcv/index.asp>> Acesso em: 27 dez 2011.

REATTO, A. **Mapa pedológico digital** – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

Revista TAE. **Consórcio PCJ conclui transição da Agência de Águas PCJ para a Fundação**. Disponível

em: <<http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=1584&genero=9>> Acesso em: 25 nov 2011.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. Ed. Contexto. 8ª Ed. São Paulo, 2007.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Sistemas de abastecimento na Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: 17 de maio de 2010.

SANTOS, M. A.; CRUZ, C. B. M.; SARAÇA, C. E. S.; OLIVEIRA, F. J. G.; RAHY, I. S.; ALGER, K.; UZÊDA, M. C.; COSTA, M. B.; PERES, W. R. Pressão antrópica e as novas dinâmicas na economia fluminense. In: BERGALLO, H. G.; FIDALGO, E. C. C.; ROCHA, C. F. D. **Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto Biomas, 2009.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. S. Paisagens, condicionantes e mudanças. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 1998.

_____. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2000.

_____. **Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em:

< <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/1976%20Dec%208468.pdf>

> Acesso em: 09 fev. 2012.

_____. **Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977.** Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Decreto%20n%C2%BA%2010.755%20de%2022%20de%20novembro%20de%201977.pdf>> Acesso em: 11 fev. 2012.

_____. **Decreto nº 26.882, de 11 de março de 1987.** Declara Área de Proteção Ambiental regiões das Bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba e do Rio Juqueri-Mirim e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/apas/26882.htm>> Acesso em: 17 dez 2011.

_____. **Decreto nº 41.258, de 31 de outubro de 1996.** Aprova o regulamento da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/Decreto_Estadual_41258_1996.pdf> Acesso em: 08 fev 2012.

_____. **Lei estadual nº 9.866, de 28 de novembro de 1997.** Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1997_Lei_Est_9866.pdf> Acesso em: 15 fev 2012.

_____. **Decreto nº 54.653, de 6 de agosto de 2009.** Reorganiza a Secretaria do Meio Ambiente - SMA e dá providências correlatas. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/decreto_54653_06_08.pdf> Acesso em: 07 fev 2012.

_____. **Lei nº 7.438, de 16 de julho de 1991.** Declara Área de Proteção Ambiental - APA, regiões que especifica, dando providências correlatas. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991%20Lei%207438.pdf> > Acesso em: 22 fev 2012.

_____. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991.** Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: < <http://www.agenciapcj.org.br/antigo/download/Lei7663-91.pdf> > Acesso em: 14 fev 2012.

_____. **Lei nº 10.111, de 04 de dezembro de 1998.** Declara "Área de Proteção Ambiental - APA o Sistema Cantareira. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1998%20Lei%2010111.pdf> >. Acesso em: 14 fev 2012.

_____. **Lei n. 12.183, de 29 de dezembro de 2005.** Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/agua_sub/arquivos/LeiEst_12183_88.pdf > Acesso em: 08 fev 2012.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos municípios paulistas.** Disponível em: < <http://www.seade.gov.br/> > Acesso em: 03 nov 2011.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Fiscalização.** Disponível em: < <http://www.semاد.mg.gov.br/fiscalizacao> > Acesso em: 05 dez 2011

SEIXAS, S. R. C.; SUAREZ, C. F. S.; SILVA, G. D.; FADINI, A. A. B. Conservação de recursos naturais e práticas turísticas sustentáveis em Vargem (SP). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.3, n.2, 2010, pp.191-214.

SILVA, A. B. **Sistemas de informações georeferenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas: Unicamp, 1999.

SILVA, R. V. **ESTIMATIVA DE LARGURA DE FAIXA VEGETATIVA PARA ZONAS RIPÁRIAS: UMA REVISÃO**. I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias – Alfredo Wagner/SC. 2003.

SMIT, B., WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**. Vol. 16, p. 282–292, 2006.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v.15, p.39-49, 2004.

SUAREZ, C. F. S. **Turismo e sustentabilidade: a demanda turística e seus principais impactos sócio-ambientais em Monte Verde – Camanducaia – MG**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado em Administração). Faculdade Cenecista de Varginha - FACECA, Varginha, 2005.

_____. **Turismo sustentável, qualidade de vida e políticas públicas em unidades de conservação: um estudo de caso em Vargem - SP (APA do Sistema Cantareira)**. 2010. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, NEPAM, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

TAGNIN, R. A. Quais características os mananciais devem ter para produzir água. In: WHATELY, M. et. al. (Org.). **Mananciais: uma nova realidade?** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

TERCEIRA VIA. **Cantareira em Rede - Preservação dos recursos hídricos: resultados e reflexões**. Joanópolis: Terceira Via. 2012a.

_____. **Projetos realizados pela Associação Terceira Via**. Disponível em: < <http://terceiravia.org.br> > Acesso em: 13 mar 2012b.

THOMAZIELLO, S. Usos da terra e sua influência sobre a qualidade ambiental. In: SANTOS, R. F. (org). **Vulnerabilidade Ambiental – Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA. 2007.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2005.

_____. Desafios atuais e futuros para garantir a qualidade da água dos mananciais do município e da Região Metropolitana de São Paulo. In: WHATELY, M. et. al. (Org.). **Mananciais: uma nova realidade?** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. M. **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos**. Biota Neotropica, vol. 10, no. 4. 2010.

TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. La política hídrica en Brasil. In: CISNEROS, B. J.; TUNDISI, J. G. **Diagnóstico del agua en las Américas**. México: IANAS, 2012.

TURNER, B. L. Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science? **Global Environmental Change**, v. 16, p. 570-575, 2010.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERSE, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **PNAS**. Vol. 100, n° 14, p.8074–8079, 2003a.

TURNER, B. L., MATSON, P.A., MCCARTHY, J.J., CORELL, R.W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., HOVELSRUD-BRODA, G., KASPERSON, J.X., KASPERSON, R.E., LUERS, A., MARTELLO, S., MATHIESEN, M.L., NAYLOR, R., POLSKY, C., PULSIPHER, A., SCHILLER, A., SELIN, H., TYLER, N. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. **Proceedings of the National Academy of Science**. vol. 100, p. 8080–8085. 2003b.

VALENTE, O. F. **Conservar nascentes em pequenas bacias**. O ECO. 2009. Disponível em: < <http://www.oeco.com.br/convidados/22078-conservar-nascentes-em-pequenas-bacias> >. Acesso em 09 fev 2011.

VALLE, R. S. T. **Código florestal: mudar é preciso. Mas pra onde?** São Paulo: ISA, 2010.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa.** 1.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2005.

VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. **Environmental Management**, vol. 29, nº 3, p. 335–348. 2002.

WHATLEY, M.; CUNHA, P. **Diagnóstico Socioambiental Participativo do Sistema Cantareira.** São Paulo: ISA, 2007.

WILLIAMS, L. R. R.; KAPUTSKA, L. A. Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. **Environmental Toxicology and Chemistry**. Vol. 19, p.1055–1058. 2000.

WWF - World Wide Fund for Nature. **Reflexões & Dicas para acompanhar a implementação dos sistemas de gestão de recursos hídricos no Brasil.** Brasília, 2005.

YAMAMOTO, L. F. **Florística e fitossociologia de espécies arbóreas ao longo de um gradiente altitudinal no extremo sul da Serra da Mantiqueira (Serra do Lopo) MG/SP.** 2009. 156f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

YASSUDA, E. R. **Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais.** Rev. Adm. Púb., v.27, n.2, p.5-18, 1993.

ZUCA, N. L. **Vulnerabilidade ambiental e usos múltiplos dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Relatório FAPESP de iniciação científica (Processo no 2009/07641-6), 2010.