UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Ambiental

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DOS SETORES ALTO E MÉDIO DA BACIA DO RIBEIRÃO TATU – LIMEIRA/SP

Sarah Felix Santos

Prof(a). Dr(a). Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

SARAH FELIX SANTOS

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DOS SETORES ALTO E MÉDIO DA BACIA DO RIBEIRÃO TATU LIMEIRA/SP

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro - SP
2019

S237a

Santos, Sarah Felix

Análise da Fragilidade Ambiental dos setores alto e médio da bacia do ribeirão do Tatu - Limeira/SP / Sarah Felix Santos. -- , 2019

71 p. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (-) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

1. Fragilidade Ambiental. 2. Análise Multicritério. 3. Sistema de Informação Geográfica (SIG). 4. Qualidade dos Recursos Hídricos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

SARAH FELIX SANTOS

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DOS SETORES ALTO E MÉDIO DA BACIA DO RIBEIRÃO TATU LIMEIRA/SP

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Comissão Examinadora

_____
Prof(a).Dr(a). Andréia Medinilha Pancher (orientador)
IGCE/UNESP/Rio Claro-SP

_____
Prof(a).Dr(a). Paulina Setti Reidel (banca)
IGCE/UNESP/Rio Claro-SP

_____
Prof(a).Dr(a). Rodrigo Braga Moruzzi (banca)
IGCE/UNESP/Rio Claro-SP

Rio Claro,_____de_____de_____.

Assinatura do(a) aluno(a) *assinatura do(a) orientador(a)*

AGRADECIMENTOS

Gosto de pensar neste trabalho, ao qual me dediquei nos últimos anos de minha graduação, na forma como um famoso dicionarista definiu o termo “trabalho”, expressando a seguinte ideia: “o fruto da aplicação de forças e faculdades humanas”. Não de um só agente, mas de um grande coletivo, dinâmico e integrado, ao qual, me sinto pertencente e que me faz acreditar.

Amizade, inspiração, exemplo, compreensão, apoio, paciência, confiança e tantas outras doses de qualidades moldaram, sem dúvidas, o alicerce que proporcionou a realização desta pesquisa. Foram muitas as pessoas portadoras destas qualidades e que as aplicaram, generosamente, nesta construção. A todas elas meu profundo agradecimento.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e fé para realizar todas as etapas dessa pesquisa e sempre estar ao meu lado nos momentos bons também naqueles de dificuldades.

À minha orientadora Profª Andreia Medinilha Pancher pela confiança e por oferecer fundamental apoio, e posteriormente, na competência, experiência, proporcionando a superação de obstáculos, o qual resultou em aprendizado valiosíssimo.

Aos professores e funcionários da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pelo acolhimento, apoio e por ajudarem a compor esse incrível ambiente de aprendizado, pesquisa e promoção da experiência do saber qualificado.

Aos funcionários da biblioteca em especial, pela atenção que dedicaram na leitura deste trabalho e pela grande contribuição agregada nesta versão final.

Às amigas que me apoiaram desde o início das minhas pesquisas, pela palavra de carinho e motivação diante das dificuldades, as quais, me fizeram acreditar que seria possível.

À minha família, pelo apoio, interesse, incentivo, compreensão e paciência ao longo desta jornada de minha vida profissional.

À todos a minha profunda gratidão e consideração.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo fundamental realizar a análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Tatu, provocada pelo processo de urbanização, considerando-se desde a nascente, localizada no município de Cordeirópolis/SP, até o médio curso, na área urbana de Limeira/SP. Para o propósito, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, visando elaborar mapas temáticos representativos dos aspectos físico-naturais (Geologia, Pedologia, Hipsometria, Declividade) e antrópicos (Uso e Ocupação da Terra) e avaliar a fragilidade ambiental, através do método de Análise Multicritérios, em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As variáveis foram integradas através de média ponderada, na qual a influência de cada mapa temático (em %) e os pesos (escala variando de 1 a 5, de muito fraco até muito forte) de cada classe temática foram estabelecidos de modo hierárquico, considerando-se as características da área de estudo. Além disso, levando-se em conta os impactos negativos causados nos recursos hídricos, destacando-se alterações nas Áreas de Proteção Permanente (APP), impermeabilização do solo e inundações, poluição das águas superficiais e alteração da qualidade dos mananciais, foram mensurados os seguintes parâmetros de poluição: nível de oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura e coliformes fecais, os quais fazem parte do Indicador de Qualidade da Água (IQA) e podem ser representados por alterações físicas, químicas e biológicas de determinado corpo hídrico ou bacia hidrográfica. Os resultados possibilitaram identificar as inadequações ambientais na área de estudo, permitindo-se estabelecer critérios para melhoria da qualidade ambiental da bacia hidrográfica.

Palavras chave: Fragilidade ambiental; Análise Multicritério; Sistema de Informação Geográfica (SIG); Qualidade dos Recursos Hídricos.

ABSTRACT

The main objective of this research was to analyze the environmental fragility of the Tatu river basin, caused by the urbanization process, considering from the source, located in the municipality of Cordeirópolis / SP, until the middle course, in the urban area of Limeira / SP. For this purpose, geoprocessing techniques were used to elaborate thematic maps representative of physical-natural (Geology, Pedology, Hypsometry, Declivity) and anthropic aspects (Use and Land Use) and to evaluate the environmental fragility, through the Multicriteria Analysis , in an environment of Geographic Information Systems (GIS). The variables were integrated through a weighted average, in which the influence of each thematic map (in%) and weights (scale ranging from 1 to 5, from very weak to very strong) of each thematic class were established hierarchically, considering the characteristics of the study area. In addition, taking into account the negative impacts caused to water resources, especially in the areas of Permanent Protection (APP), soil waterproofing and flooding, surface water pollution and changes in the quality of water sources, the following were measured: (DO), pH, temperature and fecal coliforms, which are part of the Water Quality Indicator (IQA) and may be represented by physical, chemical and biological alterations of a given water body or watershed . The results allowed to identify the environmental inadequacies in the study area, allowing to establish criteria to improve the environmental quality of the river basin.

Keywords: Environmental fragility; Multicriteria Analysis; Geographic Information System (GIS); Quality of Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Dinâmica Hídrica 16
Figura 2 - Diferenciação dos eventos Inundação, Enchente e Alagamento 16
Figura 3 - Localização da Área de Estudo 21
Figura 4 - Alterações no curso d'água do ribeirão Tatu 22
Figura 5 - Análise e Interpretação Fotogeológica 23
Figura 6 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro/Limeira/Piracicaba - SP 24
Figura 7 - Dados Meteorológicos - 2019 30
Figura 8 - Dados Meteorológicos - 2018 30
Figura 9 - Localização UGRHI 5 31
Figura 10 - Inundação entre a Ponte Preta e Av. Campinas 33
Figura 11 - Inundação Mercado Modelo - região Central de Limeira 33
Figura 12 - Erosão ao longo do curso d'água do ribeirão Tatu 34
Figura 13 - Processo de desassoreamento do ribeirão Tatu - 28/03/2018 34
Figura 14 - Erosão no médio curso do ribeirão Tatu – 17/03/2018 35
Figura 15 - Esquema Geral da Análise Multicritério 38
Figura 16 - Chave de Interpretação das classes de uso e ocupação 41
Figura 17 - Mapa Hipsométrico 46
Figura 18 - Mapa de Declividade 47
Figura 19 - Mapa Geológico 48
Figura 20 - Mapa Pedológico 49
Figura 21 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra 2010/2011 50
Figura 22 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra 2018 51
Figura 23 - Uso e Ocupação da Terra - Cenários 2010 e 2018 52
Figura 24 - Mapa de Fragilidade à Erosão 54
Figura 25 - Ponto de Inundação 56
Figura 26 - Estrutura de um canal trapezoidal 56
Figura 27 - Mapa de Fragilidade à Inundação 57
Figura 28 - Mapa de Fragilidade à Poluição Hídrica 58
Figura 29 - IQA ribeirão Tatu entre os anos de 2010 e 2017 59
Figura 30 - Conflito de Usos na Área de Preservação Permanente – Cenário de 2018 60
Figura 31 - Conflito de Usos na Área de preservação Permanente – Cenário de 2018 61
Figura 32 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados - ribeirão Tatu 63
Figura 33 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados – córrego Vargas 64
Figura 34 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados – córrego Barroca Funda 65
Figura 35 - mapa de Usos na APP no médio curso do ribeirão Tatu 67
Figura 36 - Imagens de Campo dos Usos na APP do ribeirão Tatu no médio curso 68
Figura 37 - Nascentes da bacia do ribeirão Tatu no Município de Cordeirópolis 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correspondência da nomenclatura entre a classificação antiga e atual de solos 28
Tabela 2 - Composição RGB Pedologia 29
Tabela 3 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Erosão 44
Tabela 4 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Inundação 44
Tabela 5 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Poluição Hídrica 45
Tabela 6 - Média anual IQA ribeirão Tatu entre os anos de 2010 e 2017 59
Tabela 7 - Uso e Ocupação na APP do ribeirão Tatu no médio curso 66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo Geral 14
2.2 Objetivos Específicos 14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
3.1 Uso e ocupação da terra 15
3.2 Inundação, enchente e alagamento 16
3.3 Poluição hídrica 18
3.4 Relevância do Geoprocessamento para a análise da fragilidade ambiental: ênfase ao SIG 19
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 21
4.1 Geologia 23
4.1.1 Formação Serra Geral 25
4.1.2 Formação Piramboia 25
4.1.3 Formação Corumbataí 25
4.1.4 Formação Irati 25
4.1.5 Formação Tatuí 26
4.1.6 Grupo Itararé 26
4.2 Pedologia 27
4.3 Clima 30
4.4 Recursos Hídricos 31
4.5 Histórico dos municípios 31
4.5.1 Município de Limeira - SP 31
4.5.2 Município de Cordeirópolis – SP 35
4 MATERIAL E MÉTODO 36
5.1 Material 36
5.2 Procedimentos metodológicos 37
5.2.1 Levantamento bibliográfico, de documentos cartográficos e produtos sensores 39
5.2.2 Base cartográfica 39
5.2.3 Elaboração dos mapas temáticos 40
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS 45
6.1 Análise dos mapas temáticos 45
6.1.1 Mapa de Fragilidade à Erosão 53
6.1.2 Mapa de Fragilidade à Inundação 54
6.1.3 Fragilidade à Poluição hídrica 57
6.1.4 Mapa de Área de Preservação Permanente da Bacia do Ribeirão Tatu 60
6.2 Trabalho de campo 61
6.2.1 Fragilidade à Inundação 61
6.2.2 Área de Preservação Permanente no médio curso do Ribeirão Tatu 66

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

1 INTRODUÇÃO

A adoção de estudos na escala de bacia hidrográfica é amplamente utilizada como unidade geográfica de planejamento, embora se constitua em um sistema natural cujo referencial é a água, não se torna automaticamente um único sistema ambiental, seja do ponto de vista natural, quando se levam em conta os demais componentes da natureza como solo, geologia e relevo, o meio antrópico quando se consideram as atividades econômicas e político-administrativa (ROSS, 1988).

Entretanto se consideram atividades econômicas, sejam elas urbanas, industriais ou agrícolas como as principais causadoras das transformações ambientais que refletem na intensificação da fragilidade ambiental.

A Fragilidade ambiental consiste na susceptibilidade do ambiente sofrer intervenções ou ser alterado. Quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto antrópicos (SPORL; ROSS, 2004).

Os estudos pertinentes a fragilidade ambiental, desenvolvidos por Ross (1994) abrange ambientes naturais e antropizados, a fragilidade ambiental potencial se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, ou seja, em função de suas características físicas, bem como: tipo de solo, declividade, índice de pluviosidade, entre outros. É possível ainda fazer a análise da fragilidade emergente, considerando os fatores ambientais, acrescentando o elemento humano, caracterizado como a forma que o homem ocupa a terra.

De acordo com Calijuri (2007) estudos e investigações que dão suporte à avaliação do meio físico natural, integrando as atividades antrópicas, são considerados de extrema importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a conservação do meio ambiente. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes para planejamento do

território (SPORL, 2004).

As bacias hidrográficas representam a melhor porção para estudos de fragilidade ambiental, uma vez que a qualidade da água da bacia reflete a sensibilidade dos impactos, pois essa unidade de análise é um complexo sistema ambiental, onde os cursos d'água servem, entre outros, para indicar os impactos ambientais gerados pela ação do homem ao utilizar o solo da mesma (FRANCO et al.,

2012; QUEIROZ JÚNIOR et al., 2015).

Dessa forma o levantamento dos níveis de qualidade da água de acordo com a classificação dos corpos hídricos e a elaboração de planos de prevenção e recuperação ambiental, a fim de garantir condições ideais de usos atuais e futuros, para os diversos fins tem sido a metodologia adotada desde meados de 1975, onde a qualidade dos recursos hídricos no Estado de São Paulo é medida pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB,2009).

Para identificar o grau de fragilidade dos ambientes, é possível correlacionar informações sobre solo, geologia, as diferentes formas de uso e ocupação da terra. Para atender a este propósito, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido amplamente utilizados, para a caracterização, auxiliando em tarefas como a integração de informações espaciais na simulação do espaço geográfico e de seus processos naturais. (RIBEIRO, 1999).

Essas informações podem ser integradas através da análise multicritérios, possibilitando obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Segundo Moura (2007), a Análise de Multicritérios é um procedimento metodológico baseado no cruzamento de variáveis, amplamente aceito no meio científico para realização de análises espaciais. É também conhecida como Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação para atribuir pesos e notas. O cruzamento de variáveis é realizado através da técnica de geoprocessamento e faz parte da cartografia temática. Moura (2010, p. 10) comenta sobre a importância da conceituação de SIG como

instrumento de elaboração eletrônica que permite coleta, gestão, análise e representação automatizada de dados georreferenciados.

> A utilização de um Sistema Geográfico de Informação tem como principal característica a possibilidade de otimizar a atualização dos dados, já que a realidade se encontra em constante mutação, servindo para acompanhar estas mudanças ocorridas no espaço geográfico e fazer as devidas alterações que ocorrem ao longo dos anos. O SIG tem se tornado um instrumento fundamental no planejamento urbano e regional, pois é uma ferramenta importante na elaboração e no controle das políticas públicas voltadas aos municípios. Nas questões ambientais a ferramenta é destinada a tratar dos problemas encontrados levando-se em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, contribuindo para acompanhar à evolução passada e futura de um determinado local de estudo abordando uma interdisciplinaridade na projeção e nas ações de um planejamento (MOURA, 2010, p. 10).

De uma maneira geral, os principais problemas ambientais em uma bacia hidrográfica são decorrentes desta inadequação do uso da terra, que está relacionada, em um primeiro momento, à supressão das matas nativas (AB'SABER, 1968). Quando ocorrido nas cabeceiras de drenagem e ao longo dos cursos d'água, a ausência da vegetação nativa nas Áreas de Preservação Permanente (APP) pode ocasionar o assoreamento dos rios, perda da qualidade da água e até mesmo a extinção das nascentes por conta da diminuição da infiltração das águas pluviais. Quando ocorrido em encostas de declividades acentuadas ou em áreas de solos frágeis expostos às intempéries, ocasiona alteração na dinâmica de escoamento superficial. As águas das chuvas, então, podem provocar ou acelerar os processos erosivos atuantes. Segundo Vieira (2016), as APP constituem-se numa das áreas críticas dos espaços transformados, pois estão sendo desmatadas e transformadas em pastagens e cultivos, por exemplos; na área urbana, muitos cursos hídricos são canalizados. As APP foram definidas pelo código Florestal Brasileiro (1965) e foram posteriormente consideradas reservas ecológicas (BRASIL, 1981), constituindo-se em locais de grande risco a impactos ambientais (erosão, perda da qualidade da água, inundações, etc.).

Com o agravamento da disponibilidade hídrica, a bacia hidrográfica está se tornando a unidade padrão no planejamento de recursos naturais para proteger a qualidade da água; segundo Vettorazzi (2007) já são consideradas prioritárias as políticas e práticas conservacionistas na bacia do Ware River, em Massachusetts (EUA).

Tendo em vista a importância do planejamento e gestão dos recursos ambientais destaca-se a área de estudo, a qual compreende a bacia do ribeirão Tatu, onde no setor da nascente, no trecho situado no município de Cordeirópolis, a largura de seus cursos d'água não ultrapassa os 10 metros, portanto, segundo o Código Florestal (Lei nº 12.751/12) deve existir uma APP de 30 metros entorno dos cursos d'água e ao redor da nascente 50 m. Nas áreas próximas a região urbana do município de Limeira, no médio setor do ribeirão Tatu, há presença de obras de canalização na região central da área urbana, a qual se inicia na avenida Antônio Lucato /Marginal Tatu até a Rodoviária, totalizando uma extensão de 2 km, mesmo com a existência destas obras de engenharias legalmente não existe a descaracterização da APP, porém atualmente encontra-se com ausência total das Áreas de Preservação Permanente dando espaço para movimentadas vias principais da cidade de limeira. A função de APP no entorno de córregos canalizados é a reserva de área para a preservação futura do corpo d'água. Para essa situação, o Código Florestal (Lei nº 12.751/12) prevê a mesma legislação de um curso de rio natural, porém tais áreas urbanizadas são frequentemente desmatadas e ocupadas por construções, potencializando os problemas ambientais. Assim, a área fica sujeita a riscos relacionados à contaminação das águas e solos, inundações, escorregamentos, entre outros.

Além da análise do conflito do uso das terras em APP, também serão mensurados indicadores ambientais relativos às contaminações, as quais causam alterações físicas, químicas, biológicas ou estruturais de determinado corpo hídrico ou bacia hidrográfica. Pereira (2004) destaca os seguintes parâmetros de poluição hídrica: nível de oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos, Ph e temperatura.

No que tange à ciência geográfica, a qualidade dos recursos hídricos é imprescindível,

pois a água está aliada a diversas subáreas: Geomorfologia, Biogeografia, Geopolítica, Geografia Urbana. Tendo em vista os intensos impactos que as atividades humanas desencadeiam nas águas em seu estado natural, a análise da fragilidade ambiental deve estar presente nas políticas de planejamento vigentes no plano diretor. Portanto, nessa pesquisa pretende-se realizar análises espaciais, numa escala de detalhe (1:10.000), as quais poderão servir de subsídios ao adequado planejamento do uso e ocupação das terras de uma forma precisa e ágil. Ainda, permitirá conhecer as características físico-naturais e antrópicas da área de estudo, servindo de subsídio à análise e gerenciamento das informações para uma adequada gestão municipal.

2 OBJETIVOS

A presente pesquisa está respaldada nos seguintes objetivos:

2.1 Objetivo Geral

O objetivo fundamental da presente pesquisa foi analisar as áreas de fragilidade ambiental, classificando- as quanto à ocorrência dos principais problemas ambientais decorrentes do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Tatu, no setor compreendido desde a nascente, situada no município de Cordeirópolis (SP), até o médio curso, na área urbana de Limeira (SP). Para o propósito, efetuou-se a análise integrada de aspectos físico-naturais e antrópicos, para identificar as ocorrências de enchentes, erosão e poluição hídrica na área de estudo, validada por observações de campo em diferentes setores do curso fluvial, com vistas à tomada de decisão quanto ao adequado planejamento do uso e ocupação da terra e a gestão urbana e ambiental.

2.2 Objetivos Específicos

• Analisar o uso e ocupação da terra desde a nascente do Ribeirão Tatu, localizada no município de Cordeirópolis/SP, até o médio curso, na área urbana do município de Limeira-

SP;

• Discutir as potencialidades do SIG na gestão ambiental, destacando-se a metodologia de análise multicritério, com ênfase na temática relativa aos recursos hídricos;

• Analisar o Índice de Qualidade da água (IQA), disponibilizado pela Cetesb, o qual fornece dados da qualidade e de possíveis pontos de poluição hídrica do ribeirão Tatu, desde a nascente (Cordeirópolis/SP) até o médio curso (cidade de Limeira/SP), correlacionando-os com as formas de uso e ocupação das terras, considerando-se que essas influem diretamente nos parâmetros de qualidade da água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uso e ocupação da terra

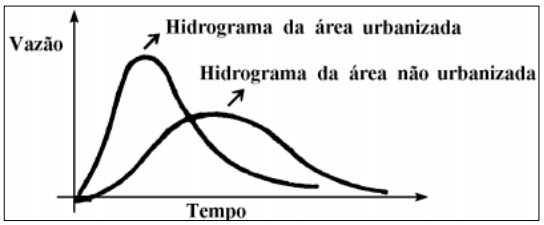
A constante interação do homem com o meio ambiente tem provocado mudanças no uso da terra ao longo do tempo, o que traz benefícios à sociedade e consequências ambientais. A agricultura e a pecuária são as atividades econômicas que mais demandam área no mundo e, por isso, estão no centro do debate sobre mudanças do uso da terra e seus impactos. A crescente demanda mundial por alimentos, fibras e combustíveis renováveis colocam o Brasil no centro das atenções como a principal potência de produção de commodities agrícolas no âmbito internacional. Assim, torna-se extremamente importante entender a dinâmica do uso da terra no país (ICONE, 2010).

O processo de ocupação do espaço brasileiro, tanto urbano como agrário, é caracterizado em grande parte pela falta de planejamento adequado e têm como consequência impactos socioambientais que ocorrem em diversas escalas. No âmbito urbano o Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana, criando-se as chamadas regiões metropolitanas. A taxa de população urbana brasileira é de 80%, próxima à saturação. O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 1960, gerando uma população urbana praticamente sem infra-estrutura, principalmente na década de 1980, quando os investimentos foram reduzidos (TUCCI, 1995).

Com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização

são apresentados na figura X. Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial (figura 1).

Figura 1- Dinâmica Hídrica



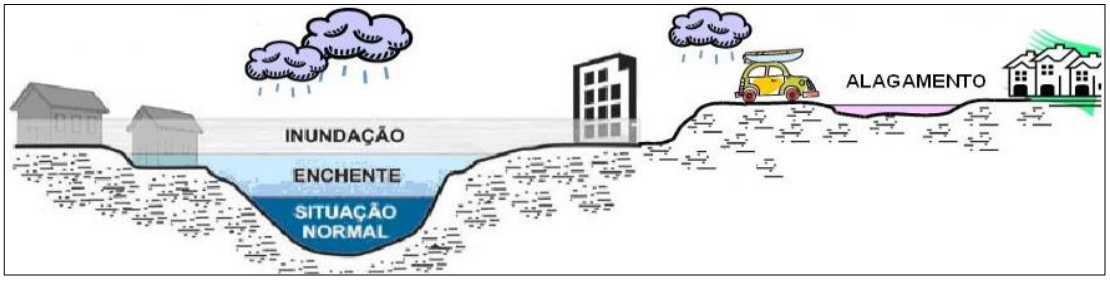
Fonte: TUCCI, 2005, p. 28

Conhecidos os processos e suas consequências, apesar da impermeabilização do solo em áreas urbanas não gerar, por si só, poluição, ela é o maior contribuinte das mudanças na hidrologia da bacia, responsáveis por grande parte das mudanças físicas que afetam os rios urbanos (May et al., 1999); é necessário planejar a ocupação do espaço urbano com a infra-estrutura e as condições que evitem impactos econômico-sociais.

3.2 Inundação, enchente e alagamento

Os eventos inundações, enchentes e alagamento são recorrentes nas cidades brasileiras, principalmente aquelas com alto nível de urbanização (figura 2).

Figura 2 - Diferenciação dos eventos Inundação, Enchente e Alagamento



Fonte: IPT, 2007, p. 92

A inundação é caracterizada pelo transbordamento da água, a qual inunda a região quando o sistema de drenagem não é suficiente para conter a vazão. Fatores como tipos de usos do solo, quantidade de áreas impermeáveis, taxa de cobertura vegetal, retinilização de córregos e rios, e outros fatores podem determinar a ocorrência ou não de uma inundação, bem como o seu tipo (GOERL e KOBIYAMA, 2005).

No que diz respeito ao alagamento, esse processo consiste no acúmulo de água provocado por chuvas intensas em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas e onde a rede de drenagem pluvial

não consegue escoar uma vazão superior àquela para qual foi projetada. Além disso, o entupimento dessas drenagens também causa alagamento (TUCCI, 2005).

As enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade. Esses impactos podem ocorrer devido à urbanização ou à inundação natural da várzea ribeirinha. Um quadro de enchente é quando temos o aumento do nível da água, porém sem que isso gere o transbordamento. A enchente é causada, sobretudo, pela elevada vazão ou pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos. Segundo Tucci (2005), as enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada: enchentes em áreas ribeirinhas - enchentes naturais que atingem a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo; urbanização - enchentes provocadas pela urbanização.

As medidas ambientais consistem em evitar desmatamentos, para que não ocorram os assoreamentos; não atirar lixo em lixeiras a céu aberto, para não obstruir os canais de drenagem; aumento das áreas verdes, para aumentar a infiltração.

Além dessas medidas, existem os instrumentos legais baseados nas leis ambientais, destacando-se o Plano Diretor Municipal e o Código Florestal, os quais são fundamentais para prevenção de desastres ambientais provocados pela interferência antrópica, sendo obrigatório o cumprimento de suas determinações.

Previsto na Constituição Federal de 1988 para municípios com mais de 20 mil habitantes, o Plano Diretor tem como objetivo estruturar o crescimento e o desenvolvimento da cidade de maneira organizada ao longo do tempo. Esse define, estabelece e caracteriza a política de desenvolvimento urbano, bem como a maneira de se atingir este objetivo. A proposta inicial é desenvolvida pelo Executivo a partir de estudos técnicos e da coleta das demandas e interesses da sociedade (SCHWARTZ, 2017).

Conforme prevê o novo Código Florestal Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 n o inciso II do Artigo 3° da referida Lei, considera-se Área de Preservação Permanente como sendo:

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

Os critérios para a delimitação das APP estão definidos no artigo Artigo 4° do Código Florestal, que considera as seguintes faixas:

> I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; .
>
> IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros.

Outra função das APP, descrita no Artigo 6° do Código Florestal é a de "conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha", o que também é de grande importância para a redução dos riscos ambientais urbanos.

Os impactos sobre a população são causados, principalmente, pela ocupação inadequada do espaço urbano. De acordo com Rizzi (2017) para minimizar os riscos de inundação, enchente e alagamento depende de um planejamento criterioso do uso do solo, que priorize a gestão sustentável da água. Para Rizzi, o Plano Diretor de Drenagem Urbana é o instrumento mais eficaz para regular a relação entre uso e ocupação do solo urbano com a drenagem. Integrado ao Plano Diretor, ele deve prever a distribuição da água no tempo e espaço de forma compatível com o desenvolvimento dos demais elementos que compõem a infraestrutura urbana.

3.3 Poluição hídrica

O crescente desenvolvimento, tanto industrial como social, tem levado a um aumento considerável na produção de resíduos, que, quando lançados no ambiente *in natura*, ou seja, sem tratamento, podem causar sérios comprometimentos à qualidade do meio ambiente, pela elevada poluição ambiental, particularmente dos ambientes aquáticos, que é o destino final desta gama crescente de efluentes, e pelos muitos contaminantes com potencial tóxico (JHA, 2004).

A bacia do ribeirão Tatu, um dos três principais cursos d'água da cidade de Limeira (SP), cobre grande parte da área urbana do município. Nasce na zona rural do município de Cordeirópolis e deságua no Rio Piracicaba. Segundo a CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2008) e de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o ribeirão é considerado, na área urbana, um rio de classe 4, ou seja, suas águas são destinadas apenas à navegação, à harmonia paisagística e aos usos menos exigentes. Este rio possui inúmeros problemas como lançamento de efluentes industriais, domésticos e agrícolas sem tratamento, além da ausência, quase total, de matas ciliares (MARRARA, 2008).

Limeira possui hoje, de acordo com estatísticas oficiais da prefeitura municipal (www.limeira.sp.gov.br), cerca de 1.000 indústrias com uma produção bem diversificada. Porém,

um segmento que vem se destacando no município é o de bijuterias. O processo de galvanoplastia, necessário para a folheação das bijuterias, gera resíduos com metais como cobre e níquel, que são extremamente tóxicos e com potencialidade de bioacumulação. A maioria destas empresas não destina adequadamente seus resíduos, gerando um impacto ambiental preocupante (BOSCO et. al, 2016).

Além disso, o ribeirão Tatu recebe 82% da carga poluidora *in natura* (ou seja, sem tratamento) de origem doméstica da cidade de Cordeirópolis e 72% do esgoto doméstico da cidade de Limeira, sendo que somente 56% do total de esgoto coletado é tratado (CETESB, 2009). Como este é um dos principais cursos d´água da cidade de Limeira, há uma necessidade urgente de recuperação, assim como a conscientização das empresas que descartam seus efluentes sem tratamento adequado e também um eficiente tratamento dos efluentes domésticos lançados nas suas águas.

É importante ressaltar que o alto curso do ribeirão Tatu, localiza-se no município de Cordeirópolis, contando com a existências de 56 nascentes que são afluentes do curso principal, o qual é responsável pela maior parte do abastecimento de água e se enquadra na classificação 2 (CETESB, 2009). Tendo em vista a vital importância dos recursos hídricos, as bacias, principalmente as cabeceiras devem ser preservadas conforme previsto no novo Código Florestal Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, o raio mínimo de 50 m de Área de Preservação Permanente (APP) no entorno de nascentes.

3.4 Relevância do Geoprocessamento para a análise da fragilidade ambiental: ênfase ao SIG

A partir da metade do século XX, os dados geográficos passam a serem tratados por um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais denominadas de Geoprocessamento. Para Câmara et al. (2001), uma nova ciência estaria surgindo, denominada de Ciência da Geoinformação, que teria como objetivo "o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico", pois, trabalhar com a geoinformação "significa, antes de mais nada, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados".

O SIG em conjunto com o sensoriamento remoto e a cartografia digital fazem parte do geoprocessamento, instrumento e técnica de obtenção de dados espaciais, associando um novo olhar sobre o espaço com ganho de conhecimento e informação (MOURA, 2014). Para Xavier da Silva (2009), o Geoprocessamento consiste num conjunto de métodos e técnicas para transformar dados ambientais georreferenciados em informações relevantes para apoio à tomada de decisão, compreendendo análises e sínteses que consideram propriedades intrínsecas e geotopológicas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) correspondem às ferramentas computacionais de Geoprocessamento, que permitem a realização de "análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados" (Câmara et al.,

2005).

Nesta perspectiva, a Análise Multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes cenários, fundamentada em critérios múltiplos, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996), amplamente utilizada em SIG. Segundo Moura (2007), a Análise Multicritério é baseada na própria lógica básica da construção de um SIG permitindo um avanço na metodologia de sobreposição de mapas, combinando e transformando dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão que é a

> [...] representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas (MOURA, 2007, p. 2900).

O procedimento metodológico consiste no cruzamento de variáveis, mapeadas através dos planos de informação (PI), como por exemplo, tipos de solo, geologia, uso da terra, declividade, etc., a depender das características específicas do recorte espacial. A cada plano de informação é atribuída uma influência diferente (em %), assim como às classes da legenda de cada plano de informação são atribuídos pesos, estabelecendo-se uma hierarquia.

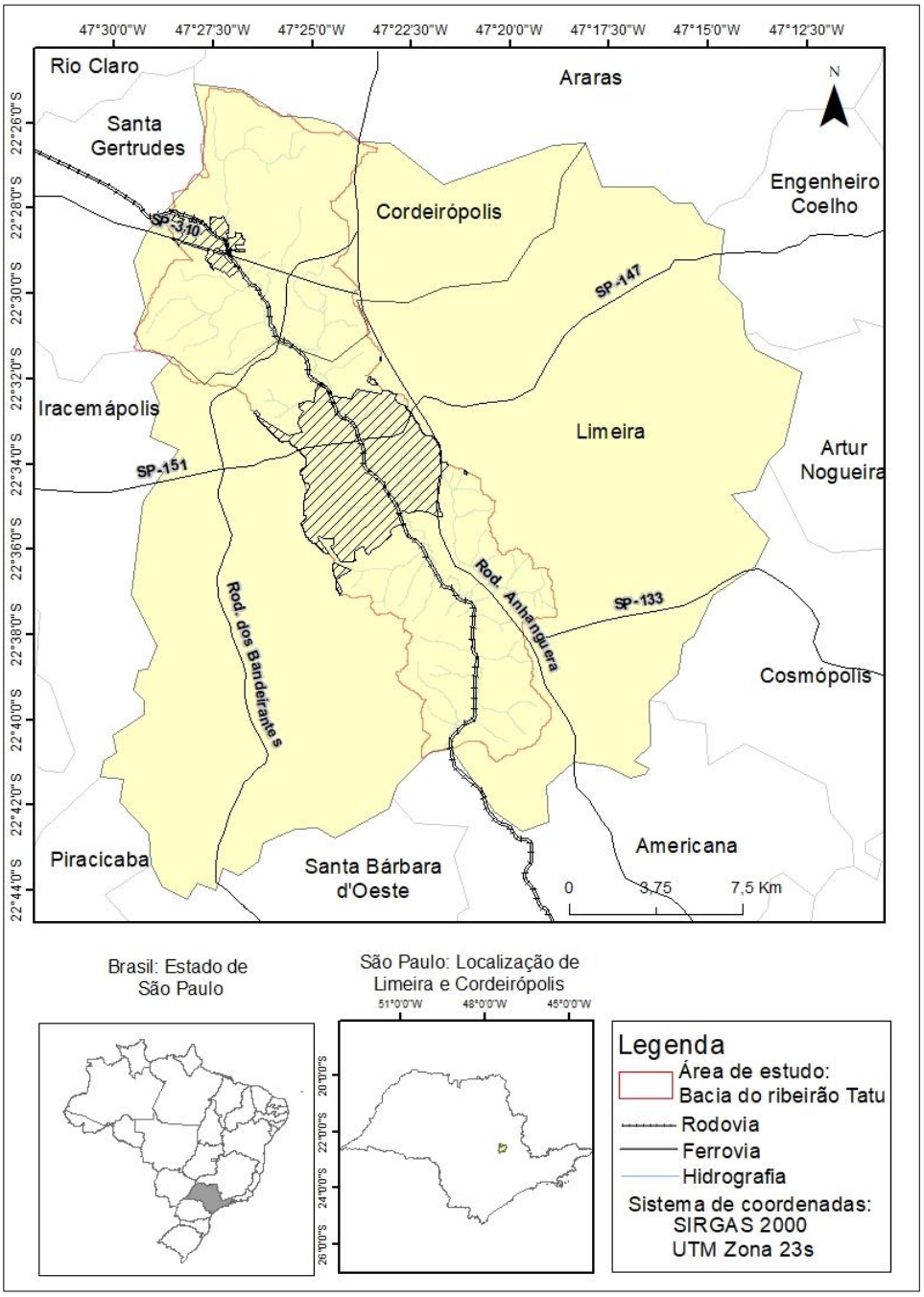
Essa metodologia é aplicada em estudos relacionados ao planejamento ambiental como: definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos, análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras (Malczewski, 2004; Eastman, 2003; Collins, Steiner e Rushman, 2001; Jiang e Eastman, 2000).

É importante salientar o uso dessa metodologia em diversos estudos, destacando-se o de Taglani (2003) que empregou a análise de multicritérios em ambiente de SIG, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade de ambientes costeiros na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Como critérios, esse autor utilizou a declividade, a capacidade de uso do solo, a vegetação, os recursos hídricos e a idade dos terrenos. Para a ponderação dos critérios foram empregados o método Análise Hierárquica de Pesos (AHP) e a combinação linear ponderada. Segundo o autor, essa metodologia, integrada ao SIG, é amplamente flexível e permite a inclusão de dados complementares ou a reavaliação das informações temáticas e critérios, a partir do qual se pode chegar a um consenso e a tomada de decisão.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do ribeirão Tatu ocupa 75% da área urbana de Limeira, nasce na zona rural de Cordeirópolis (SP), atravessa o setor urbano de Limeira e deságua no rio Piracicaba no sentido noroeste – sudeste. A totalidade da bacia hidrográfica é de 200 Km^2 e possui uma extensão de 22,5 Km, (REGATTIERI, 2008). (figura 3). Neste contexto, selecionou-se a área dessa pesquisa, a qual se localiza entre as coordenadas 47º27’35’’O e 22º25’15’’S; 47º22’02’’O e 22º40’52’’S (REGATTIERI, 2008).

Figura 3 - Localização da Área de Estudo

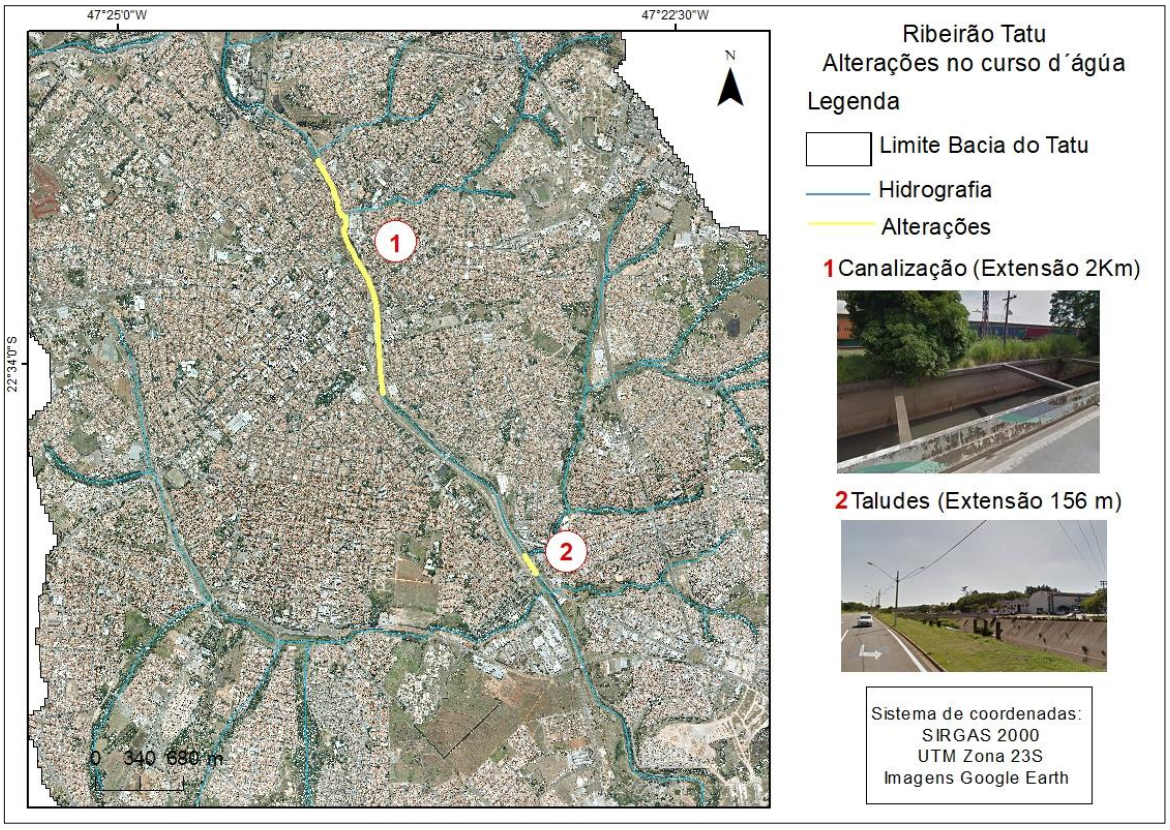


Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nessa Região há um importante do ponto da integração, abrangendo as rodovias dos Bandeirantes e Anhanguera, importantes rotas entre Limeira e Cordeirópolis até São Paulo. Também, uma ferrovia atravessa os municípios no sentido N-S, inclusive a área urbanizada; esse sistema de transporte foi muito importante nos séculos XIX e XX, para o escoamento do café, produção industrial e para o deslocamento de passageiros; atualmente a ferrovia é utilizada por trens de carga.

O ribeirão tatu apresentam também alterações em seu curso natural conforme pode-se verificar na figura 4.

Figura 4 - Alterações no curso d'água do ribeirão Tatu

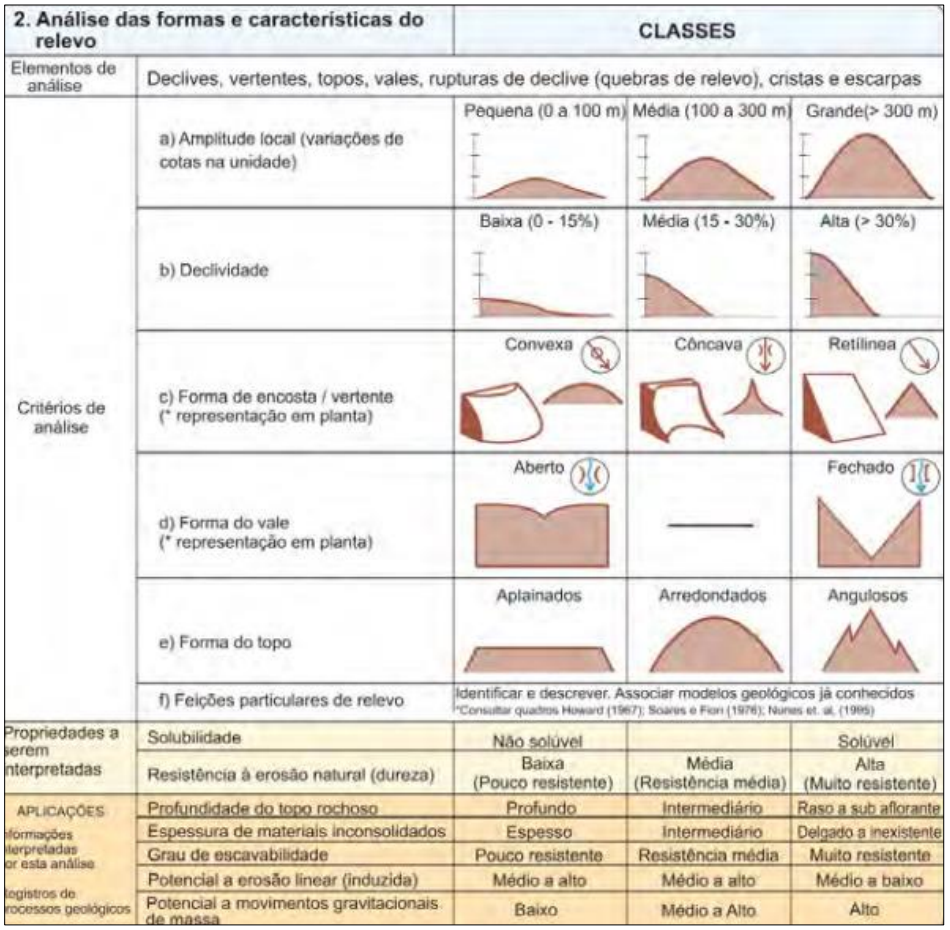


Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De acordo com o plano municipal de recursos hídricos de Limeira (2016), o bioma que está inserido a bacia do ribeirão do Tatu é formado de fragmentos de Mata Atlântica que correspondem principalmente a Floresta Estacional Semidecidual e também do cerrado, porém as vegetações no entorno das nascentes e cursos d´água encontram-se antropizadas e com elevado número de espécies invasoras e exóticas em meio à paisagem natural, sendo uma quantidade ínfima de espécies nativas.

Do ponto de vista geomorfológico, a área de estudo está inserida na Depressão Periférica Paulista, onde a zona é pouco acidentada predominando colinas baixas, suaves e convexas (ALMEIDA, 1964). As altitudes variam de 520 a 820 metros e o ponto mais alto é o Morro Azul com 831 metros (REDONDANO et al., 2000). De acordo com a figura 5 abaixo são regiões onde possuem baixa resistência a erosão natural, dessa forma a vegetação possui uma importante para mitigar os processos erosivos.

Figura 5 - Análise e Interpretação Fotogeológica



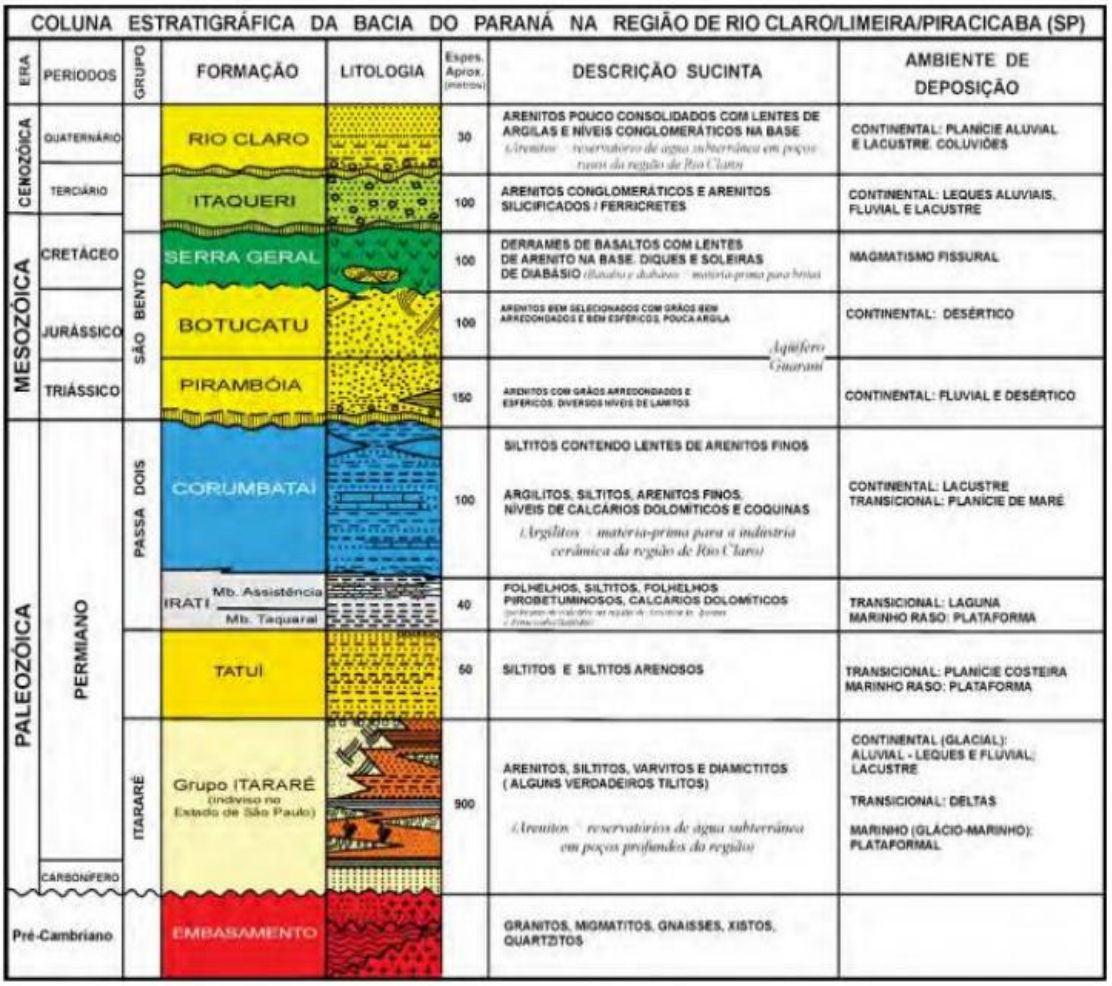
Fonte: Zaine, 2011.

Posicionada na região fisiográfica do município de Limeira, está inserida no Estado de São Paulo, cuja topografia é suavemente ondulada, constituída por um faixa de terras mais altas, seguida por uma área rebaixada e aplanada, tradicionalmente conhecida como Depressão Periférica Paulista, e por um conjunto de terras mais ou menos uniformes, aplanadas e altas, que cobrem quase todo o interior do Estado. (FAPESP, 1998).

4.1 Geologia

No que refere-se à geologia, a área de estudo localiza-se, na Bacia Sedimentara do Paraná, onde afloram várias unidades estratigráficas, destacando-se três grupos principais: os sedimentos paleozóicos do Grupo Tubarão (Subgrupo Itararé e Formação Tatuí) e do Grupo Passa Dois (Formações Irati e Corumbataí), além dos sedimentos mesozóicos do Grupo São Bento com a Formação Pirambóia e Rochas Intrusivas Básicas, as quais estão associadas à Formação Serra Geral. Destaca-se que as rochas do Grupo Tubarão são predominantes no município, aparecendo de forma contínua especialmente na porção central, nas porções sul e sudoeste e em faixas de sudeste e nordeste. As rochas do grupo Passa Dois localizam-se na porção noroeste do município, em pequenas áreas próximas ao Morro Azul, sendo constituídas de folhelhos, calcários intercalados e siltitos. Ainda, as rochas do Grupo São Bento afloram nas porções norte e noroeste do município, sendo a formação Pirambóia constituída de arenitos de origem fluvial e as Rochas Intrusivas Básicas compostas de diabásios. (AZEVEDO, 2008). Dessa forma segue abaixo na figura 6 a descrição sucinta e ambiente de disposição das rochas.

Figura 6 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro/Limeira/Piracicaba - SP



Fonte: PERINOTTO & ZAINE et al., (2008).

4.1.1 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é a unidade mais nova do Grupo São Bento, possuindo idades aproximadas de 133 Ma (RENNE et al, 1992). É formada por rochas vulcânicas, compostas principalmente por derrames espessos de basaltos toleíticos cinza-escuros a pretos, com amígdalas nos topos destes derrames (ZAINE, 1994). Há ainda a presença marcante de soleiras e diques de diabásio, que se intrudiram principalmente através de falhamentos e juntas em outras formações da Bacia do Paraná. Existem também arenitos entre os derrames de basalto (ZAINE, 1994; CORDANI & VANDOROS, 1967).

4.1.2 Formação Piramboia

De acordo com Zaine (1994), a sedimentação da Formação Pirambóia caracteriza-se pela predominância de arenito, com potencial para gerar solos com horizonte B mais arenoso. É exclusivamente continental, de clima árido a semi-árido, o que se estende também para todo o Grupo São Bento. É representada basicamente por espessas camadas de arenitos amarelados, esbranquiçados e avermelhados, com granulometria variante entre fina e média. Também, existem intercalações de siltitos e argilitos de ocorrências isoladas e, localmente, níveis conglomeráticos. Ocorre no extremo oeste da Bacia do Ribeirão Tatu.

4.1.3 Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí é a unidade superior do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo. Na Bacia do Ribeirão Tatu ocorre na porção norte, onde se localiza o município e Cordeirópolis. Foi nomeada assim pelo nome do rio que atravessa sua seção tipo localizada no Vale do Rio Corumbataí (SALVADOR & SIMONE, 2010).

É formada por litotipos de granulação fina, principalmente por siltitos (predominâcia/origina solos argilosos pouco espessos) roxos e marrom-avermelhados podendo se intercalar com arenitos muito finos amarelos, calcarenitos e espessas camadas lamíticas. Em menor escala são observadas rochas carbonáticas, como coquinas, e alguns silexitos na parte superior (SCHNEIDER et al, 1974).

4.1.4 Formação Irati

A Formação Irati constitui a unidade litoestratigráfica da Bacia do Paraná com maior

homogeneidade e identidade em toda a sua extensão areal, apesar da pequena espessura (em média 40 m e não ultrapassando os 70 m), sendo adotada em diversos trabalhos como um "horizonte-guia", correspondendo, ainda, a uma fase de grande estabilidade tectônica da bacia (GAMA JR. et al. ,1982).

Segundo Zaine (1994) a Formação Irati pode ser dividida, em toda a bacia sedimentar do Paraná, em dois membros: a sequência basal, constituída por folhelhos (solo argiloso pouco desenvolvido) de cores cinza-escuro e cinza-claro e siltitos de coloração cinza, denominada Membro Taquaral; a sequência superior, composta por folhelhos cinza-escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos, associados a calcários, geralmente dolomíticos, correspondendo ao Membro assistência (similar a Corumbataí, mas mais desenvolvido), a qual representa uma porção pequena da Bacia do Ribeirão Tatu.

4.1.5 Formação Tatuí

A Formação Tatuí tem suas exposições na Bacia do Ribeirão Tatu, nas porções centro-oeste e noroeste do município de Limeira, correspondendo ao Grupo Guatá dos estados do sul. Juntamente com o Grupo Itararé, a Formação Tatuí compõe, no Estado de São Paulo, o denominado Supergrupo Tubarão. Seu contato basal é admitido como transicional com o Grupo Itararé.

Litologicamente, é composta por siltitos e lamitos de cores verde, creme e chocolate, geralmente maciços e bioturbados, constituindo-se numa sequência eminentemente pelítica. Subordinadamente, ocorrem arenitos, conglomerados e calcários (FULFARO et al, 1984) e origina solos silto-argilosos pouco desenvolvidos.

4.1.6 Grupo Itararé

O Grupo Itararé é o que mais ocorre na Bacia do Ribeirão Tatu, podendo ultrapassar 330 m, que é a espessura máxima perfurada no município de Limeira/SP. O Grupo Itararé é uma unidade litoestratigráfica permo-carbonífera da Bacia do Paraná das mais complexas, quer do ponto de vista da diversidade dos processos geradores, quer da relação espacial, caracteristicamente marcada pela descontinuidade de suas litofácies constituintes. Vale ressaltar que, sob o ponto de vista exploratório, a unidade representa um dos intervalos mais importantes da bacia, pois a ela se associam diversas ocorrências de bens minerais e energéticos como água subterrânea, petróleo e carvão (ARAB, PERINOTTO, ASSINE, 2009).

No Estado de São Paulo, o Grupo Itararé é constituído, predominantemente, de sedimentos arenosos de granulometria variada, desde muito fina a conglomerática. Ocorrem também pacotes

expressivos de diamictitos e sedimentos pelíticos, representados por siltitos, folhelhos e ritmitos, podendo conter seixos e blocos erráticos. Subordinadamente, ocorrem camadas delgadas de carvão, pesquisadas pelo IPT no início dos anos 80 (CABRAL JR., 1991), antes descritas por SAAD (1977) e FULFARO et al. (1980).

Segundo Zaine (1994) o Grupo Itararé atinge espessura de até 1.400 m no sudoeste do Estado, adelgaçando para nordeste e ocorrem sedimentos arenosos de coloração avermelhada, típica de deposição predominantemente continental.

4.2 Pedologia

De acordo com a carta pedológica, elaborada pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), na escala 1:100.000, as associações pedológicas verificadas na Bacia do Ribeirão Tatu, são as seguintes:

a) Associação de Latossolo Vermelho-amarelo álico, com horizonte A moderado e proeminente, textura média e argilosa e Latossolo Vermelho-Escuro álico, com horizonte A moderado e proeminente com textura média e argilosa, Latossolo Roxo distrófico, com horizonte A moderado e eutrófico, com A moderado. Terra Roxa estruturada, com horizonte A moderado. Podzólico Vermelho-amarelo, com horizonte A moderado e textura arenosa/média e argilosa. Encontram-se na área predominantemente os dois primeiros.

b) Solos litólicos, com horizonte A moderado e substrato sedimento da Formação Tubarão. Solos hidromórficos. Encontram-se na área baixa predominância destes solos.

Um levantamento pedológico expedito foi realizado pelo IPT (1999) associado aos dados geológicos e de relevo já existentes, buscando correlacionar a ocorrência de um determinado tipo de solo ao substrato que lhe deu origem. Realizando as adaptações de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (BRASIL, 2013), apresentam-se as seguintes classes de solos:

a) Argissolo Vermelho Amarelo: ocorre em relevo plano e suave ondulado. Podendo ocorrer teores areno-argilosos conferindo uma susceptibilidade à erosão;

b) Latossolo Vermelho: ocorre em relevo plano e suave ondulado, sua cor é bastante homogênea em profundidade. O teor de argila é quase o mesmo ao longo do perfil;

c) Latossolo Vermelho-amarelo: sua ocorrência se dá em relevo predominantemente suave ondulado. Apresenta textura média ou argilosa e cor amarelada homogênea em profundidade;

d) Neossolo Litólico: sua ocorrência se dá em relevo ondulado, podendo aparecer também em faixas de relevo mais suavizado. É um solo raso em que o horizonte A sobre a rocha não ultrapassa 50 cm de profundidade;

e) Gleissolo Háplico: presente em relevo plano de várzea ou nas cabeceiras de drenagem, de coloração acinzentada, cinzenta, com mosqueados amarelados ou avermelhados, oriundos da oxidação do ferro na matriz do solo, com o horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125 cm.

Considerando as mudanças na nomenclatura estabelecidas pelo novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, as classes de solo verificadas no mapa pedológico passaram pela adaptação descrita na tabela 1.

Tabela 1 - Correspondência da nomenclatura entre a classificação antiga e atual de solos

Classificação Atual	Classificação Antiga
Argissolo Vermelho Amarelo	Podzólico Vermelho Amarelo
Gleissolo Háplico	Solo Hidrimórfico
Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho Escuro, Roxo
Latossolo Vermelho Amarelo	Latossolo Vermelho Amarelo
Neossolo Litólico	Solo Litólico

Fonte: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013).

Segundo Stefanoski ,et al (2013) as propriedades físicas relacionadas ao tipo e tamanho das partículas minerais presentes no solo são essenciais para determinar sua fragilidade. Determinadas classes de solo apresentam maior ou menor fragilidade em relação à erodibilidade, em resposta ao escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

As características pedológicas de maior importância para estudos erosivos são aquelas relacionadas à capacidade de infiltração da água no solo e à capacidade do solo em resistir ao destacamento e arraste de partículas pelo escoamento. Características do solo, como porosidade e grau de agregação, afetam diretamente a capacidade de infiltração e consequentemente o escoamento superficial. Algumas destas características encontram-se intrinsicamente associadas, de forma qualitativa, à taxonomia dos solos (REIS et al., 2006).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos possuem uma textura mais grosseira, como consequência dos materiais de origem: arenitos do Grupo Itararé.

Os Gleissolos Háplicos são presentes em relevo plano de várzea ou nas cabeceiras de drenagem; são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa e argilo-arenosa. Compreende solos mal a muito mal drenados e que possuem características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido a presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano (EMBRAPA, 2006).

Os Latossolos possuem uma boa drenagem interna e elevada permeabilidade, limitando os efeitos

da erosão laminar, porém favorecem a contaminação do lençol freático. Os de textura média são mais pobres e podem ser degradados facilmente por compactação e erosão. As manchas de Latossolos são marcadas por solos muito desenvolvidos, profundos, característicos de relevos menos acidentados (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

Os Neossolos Litólicos são solos minerais, pouco desenvolvidos, com horizonte A ou O hístico com menos de 40 cm de espessura sobre rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material constituído por fragmentos de rocha. São solos com muitos nutrientes, especialmente os que derivam de rochas básicas (basaltos e diabásios), mas por apresentarem profundidade efetiva reduzida. O seu uso para a agricultura é limitado, pois o volume de material para a fixação de plantas e a retenção de umidade são baixos (CBH – PCJ, 2008).

No entanto, Ross (1994) revela que se deve haver certa cautela ao diferenciar fragilidade e erodibilidade dos solos, quando o escoamento é difuso ou concentrado. Ao longo de trilhas, estradas e mesmo solos expostos o escoamento concentrado torna-se muito mais agressivo para os latossolos de textura média e média/arenosa do que para solos argilosos ou mesmo mais rasos como os Podzólicos (argissolos). Entretanto, para esse último solo o transporte de detritos finos e material coloidal é mais abundante nos horizontes superficiais pela ação do escoamento superficial.

Na Bacia do Ribeirão Tatu os solos que apresentam maior fragilidade são os Latossolos, com maior ocorrência na área de estudo, e o Neossolo Litólico, na região sul. Já os Gleissolos, podendo ser argilosos, apresentam menor fragilidade. Nesta pesquisa, adotou-se a metodologia proposta por Ross (1994), referente à fragilidade dos tipos de solos.

Pode-se verificar na tabela 2 os solos presentes na área de estudo e sua respectiva cor.

Tabela 2 - Composição RGB Pedologia

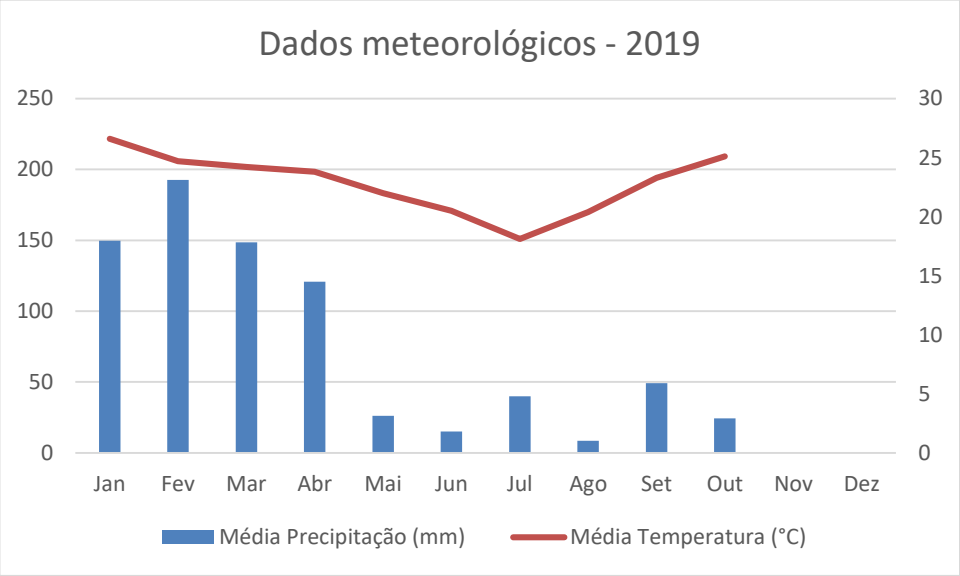
Solos	Composição RGB	Imagem
Argissolo Vermelho Amarelo	R=249 G=210 B=205	
Gleissolo Háplico	R=182 G=216 B=238	
Latossolo Vermelho	R=244 G=185 B=128	
Latossolo Vermelho Amarelo	R=247 G=209 B=166	
Neossolo Litólico	R=150 G=149 B=149	

Fonte: Manual Embrapa (2007).

4.3 Clima

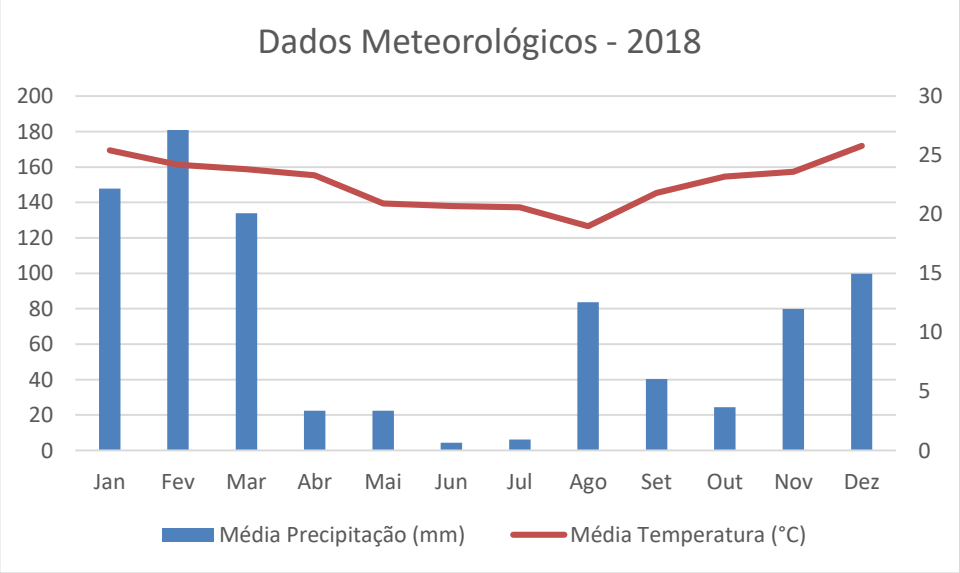
Segundo dados fornecidos pela Faculdade Tecnológica da Unicamp de Limeira, a região a qual está inserida a bacia do ribeirão Tatu possui características que consiste no clima tropical de altitude, com verão quente e úmido e inverno frio e seco e temperatura anual média de 23ºC, conforme pode-se verificar na figura 7 e 8.

Figura 7 - Dados Meteorológicos - 2019



Fonte: FT-Unicamp Meteorologia.

Figura 8 - Dados Meteorológicos - 2018

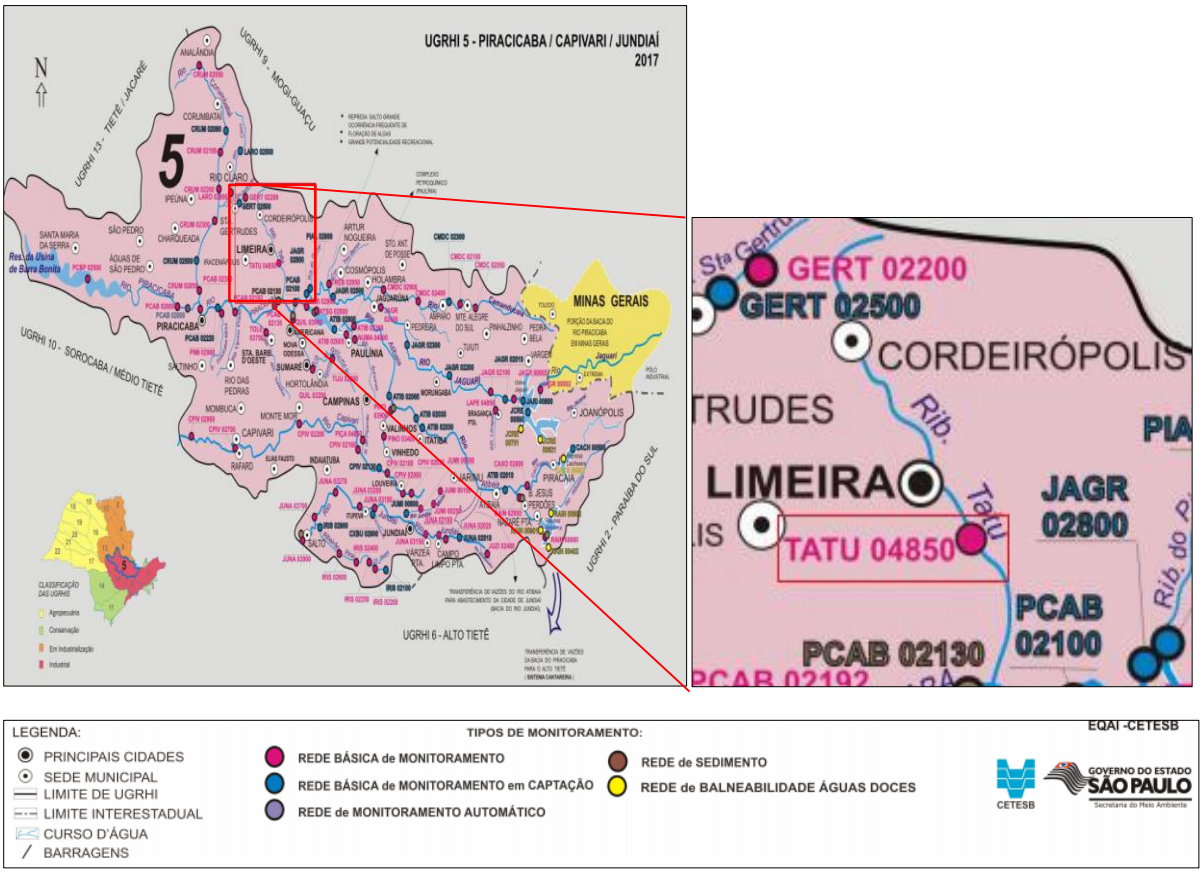


Fonte: FT-Unicamp Meteorologia.

4.4 Recursos Hídricos

O ribeirão Tatu localiza-se na UGRHI-5 considerada como industrial. Também verifica-se que há apenas um ponto de monitoramento no ribeirão Tatu (TATU04850) localizado nas coordenadas 22º39’36” e 47º21’09” 2 Km a montante da foz do Rio Piracicaba, o tipo de amostragem deste ponto é caracterizado como “rede básica de monitoramento”, conforme pode-se verificar na figura 9 (CETESB, 2018).

Figura 9 - Localização UGRHI 5



Fonte: CETESB (2017).

4.5 Histórico dos municípios

4.5.1 Município de Limeira - SP

O resgate histórico permite compreender os processos sócioespaciais existentes na área de estudo, considerando-se que tais processos influenciam diretamente na dinâmica de transformação do uso da terra no município de Limeira. A região onde se localiza o município de Limeira integra o ciclo da cana-de-açúcar existente no Estado de São Paulo, que em meados do século XIX favoreceu a expansão das fazendas canavieiras nas imediações do município de

Limeira. Nesse contexto, surgiram importantes fazendas no cenário econômico regional, como as fazendas Santa Gertrudes, Ibicaba, Morro Azul, Itapema, entre outras.

Segundo Bezerra (2001) por volta de 1840 a comercialização do açúcar sofreu considerável declínio como produto de exportação em virtude da queda de preço no mercado internacional, o qual foi sendo substituído pela economia cafeeira, que passou a ocupar grandes extensões territoriais. Esse novo produto, passou a demandar quantidade crescente de mão de obra para colheita e processamento do café; devido aos conhecimentos técnicos trazidos pelos imigrantes europeus surgiram empresas artesanais para produção de implementos relacionados à prática agrícola, como máquinas de beneficiar café, sendo estas precursoras das atividades industriais no município.

No início do século XX a economia do município volta-se para a produção de cítricos, tornando-se o maior exportador do estado, tendo sido estimulado também pela implementação das estradas no país, que fortaleceu o meio de circulação da produção, tornando o município de Limeira conhecido como a "Capital da Laranja" (ROSADA, 2005, apud Mineo 2009).

Além dos citrus, a atividade industrial de Limeira é constituída por diversos ramos, como: metalúrgica, mecânica, alimentícia, joias, papel e papelão, muitos dos quais pertencem a grandes grupos internacionais. O município de Limeira ainda se destaca pela produção sucro-alcooleira que provoca impactos negativos na área urbana, como a baixa qualidade do ar devido às queimadas e à frota de veículos (MINEO, 2009)

Nesse contexto industrial, cabe destacar o setor de joias e folheados, constituído principalmente por empresas de micro e pequeno porte, com estrutura de capital social familiar. Essas empresas vêm contribuindo para dinamizar a economia limeirense por gerar empregos e possibilitar a inserção de jovens ao mercado de trabalho. Entretanto, merece maior atenção do poder público o emprego de mão-de-obra informal por parte de alguns estabelecimentos; esses trabalhadores se encontram seriamente vulneráveis, do ponto de vista social e ambiental, por manipularem produtos químicos que podem colocar em risco a saúde e causar poluição dos solos e dos recursos hídricos (AZEVEDO, 2008).

Logo, o processo histórico de ocupação do território limeirense é uma importante referência para a análise de aspectos relacionados à forma como o planejamento urbano e o ordenamento territorial, aprovados em âmbito local, geraram uma expansão urbana desordenada (TAUFIC, 2014).

De acordo com as notícias identificadas em jornais e mídias de jornalismo na *internet*, vários eventos evidenciam a expansão urbana desordenada, como por exemplo casos de inundações registrados pela Gazeta de Limeira, G1 e Rápido no Ar, considerando-se o período de janeiro de 2010 a junho de 2018.

A imagem na figura 10 localiza-se na Ponte Preta que possibilita o acesso entre a Avenida Campinas e a Marginal Tatu, importante acesso do município marcado por um intenso fluxo de veículos.

Figura 10 - Inundação entre a Ponte Preta e Av. Campinas

Fonte: Acesso em 27 nov. 2018 disponível em: < https://www.rapidonoar.com.br/forte-chuva-causa-transtornos-em-limeira-na-noite-desta-quarta-feira/>

O Mercado Modelo apresentado na figura 11, conhecido como Mercadão localiza-se no centro do município. A fim de mitigar os eventos de inundações, a prefeitura municipal de Limeira construiu em 2015 dois tipos de bacias: bacia de amortecimento e infiltração. Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011), as bacias subterrâneas atuam como reservatórios temporários para armazenar a água da chuva, diminuindo o volume drenado para os rios, sendo muito utilizadas em áreas densamente urbanizadas e impermeabilizadas; e, a bacia de infiltração tem função de armazenamento temporário e infiltração, sendo dimensionadas para que todo o aporte de água infiltre pelo solo. Vale salientar, que esse último tipo de bacia não tem dispositivo de controle de saída.

Figura 11 - Inundação Mercado Modelo - região Central de Limeira

Fonte: Acesso em 27 nov. 2018. Disponível em: < http://noticiadelimeira.com.br/2018/02/19/chuvas-provocam-alagamentos-em-seis-pontos-em-limeira-prefeitura-vistoria-locais-afetados/>

Após a adoção dessas medidas estruturais houve diminuição da intensidade dos eventos, porém ainda ocorrem inundações no local que podem estar relacionadas ao dimensionamento das bacias ou associadas aos dutos de transportes fluviais, os quais dependem de manutenção e da conscientização da população sobre o problema em manter as vias isentas de materiais que causam entupimento deste sistema de drenagem.

A imagem da figura 12 evidencia a Avenida Engenheiro Antônio Eugênio Lucato, conhecida como marginal Tatu, que possui um intenso fluxo de veículos e também é utilizada para caminhadas, especialmente na marginal oeste.

Figura 12 - Erosão ao longo do curso d'água do ribeirão Tatu

Fonte: Acesso em 27 nov. 2018 disponível em: <https://www.gazetainfo.com.br/desktop/noticia.php?r=noticias&id=15003809>

Também pode-se verificar trechos onde ribeirão Tatu encontra-se assoreado devido aos sedimentos transportados por escoamento em direção ao corpo d’água. Tais sedimentos são provenientes de ambientes que ocorrem erosões.

Figura 13 - Processo de desassoreamento do ribeirão Tatu - 28/03/2018

Fonte: Acesso em 27 nov. 2018 disponível em: <https://cordeiropolis.corderovirtual.com.br/noticias/prefeitura-de-limeira-inicia-desassoreamento-do-ribeirao-tatu>

A ocorrência de erosões também é presente no médio curso do ribeirão Tatu, conforme verifica-se na figura 14.

Figura 14 - Erosão no médio curso do ribeirão Tatu – 17/03/2018

Fonte: Acesso em 27 nov. 2018 disponível em: <http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2013/03/erosao-em-corrego-avanca-e-atinge-rotatoria-em-limeira-diz-internauta.html>

4.5.2 Município de Cordeirópolis – SP

O município de Cordeirópolis/SP localiza-se na microrregião de Limeira, no Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22º28’5” S e 47º27’24” O. A população foi estimada em 23.793 habitantes (IBGE, 2018) e se distribui numa área de 137,57 km², portanto a densidade demográfica era de 172,95 hab./km^2.

A economia do município é bem diversificada. Na agricultura destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar, algodão, milho, abacate e laranja. Na pecuária, as principais atividades são: avicultura, suinocultura e bovinocultura. Na área industrial, as mais importantes hoje são do ramo cerâmico, papel e papelão, tecelagem e metalúrgicas. O setor de prestação de serviços também é bastante diversificado e os estabelecimentos comerciais são bem estruturados e representam uma das principais fontes de economia do município (VIEIRA e VIEIRA, 2017)

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável da população do município de Cordeirópolis/SP, passando de 12.864 habitantes na década de 1980 para 23.793 habitantes em 2017, devido especialmente a vinda de migrantes para trabalhar nas indústrias mineradoras (IAOCHITE, 2008, p.48).

O desenvolvimento econômico no setor industrial promoveu a geração de empregos, porém as atividades de mineração na região têm causado impactos ao meio ambiente e a população local. Iaochite (2008, p.28) afirma que o poder público permitiu que as indústrias se instalassem nas áreas centrais dos municípios, devido à proximidade das mesmas às cavas de argila. Porém, com o passar do tempo à população foi ocupando as áreas do entorno das cerâmicas, causando uma série de problemas.

Tal setor também contribuiu para o processo de urbanização do município; atualmente o

crescimento urbano está seguindo a direção sul, próximo a APP e áreas de cultivo de cana-de-açúcar, podendo-se citar o Jardim Eldorado e Santa Luzia que se localizam nas imediações da Avenida Aristeu Marcicano, os quais referem-se a áreas de recentes expansões e que também, se tornaram áreas frágeis à inundação (VIEIRA e VIEIRA, 2017).

Para atender um pedido antigo dos moradores do bairro Jardim Santa Luzia, a prefeitura inaugurou a Galeria de Águas Pluviais na Avenida Aristeu Marcicano, no bairro Jardim Santa Luzia, visando solucionar os problemas de enchentes em áreas de acúmulo de água, além de auxiliar o escoamento correto das águas nesta região (CORDERO VIRTUAL, 2018).

Estudos elaborados no Ribeirão Tatu por Levighin e Camargo (2006), Manzano (2010) e Cunha (2016) comprovaram que no município de Cordeirópolis/SP os dejetos domésticos são despejados no Ribeirão Tatu sem nenhum tipo de tratamento onde foram identificados coliformes totais e coliformes fecais. Além disso, em trechos do seu curso d'água, observa-se aspecto turvo e cheiro desagradável, indicando o comprometimento da sua qualidade. O Ribeirão Tatu recebe 82% da carga poluidora de origem doméstica de Cordeirópolis/SP. Vale ressaltar, que algumas dessas indústrias cerâmicas estão instaladas próximas aos cursos d'água. As empresas Ceral, Cecafi e Luna estão aproximadamente 145m, 250m e 650 metros, respectivamente, de distância do Ribeirão Tatu, ocasionando impactos ambientais a esses recursos hídricos.

5 MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram adotados procedimentos metodológicos, destacando-se o uso das geotecnologias para os mapeamentos temáticos e para a integração dos dados, utilizando-se o ambiente do SIG ARCGIS (versão 10.3, da ESRI). A seguir, estão detalhados o material e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa.

5.1 Material

A análise proposta neste estudo tem respaldo na integração de mapas temáticos da bacia do Ribeirão Tatu, relativos ao meio físico e antrópico da área de análise, visando elaborar mapas de fragilidade à enchente, erosão e poluição hídrica. Assim, foram analisados 5 planos de informação:

a) Geologia: teve como base Loretti Jr. (2014), escala de 1:100.000;

b) Pedologia: obtido do Instituto Agronômico de Campinas-IAC (2012), Quadrícula Campinas, na escala 1:50.000, visando identificar solos que têm boa capacidade de infiltração (permeáveis) e aqueles cuja infiltração é comprometida (impermeáveis).

c) Hipsométrico: gerado através das curvas de nível e dos pontos cotados, da Base Territorial e Malha Urbana, de 2015 (em .dwg), fornecida pela Secretaria de Urbanismo, da Prefeitura Municipal de Limeira e Cordeirópolis na escala 1:10.000, visando caracterizar o relevo em faixas de altitude e representar as variações de elevação, para identificar as cotas propensas a inundações.

d) Declividade: elaborado a partir dos dados de curvas de nível, pontos cotados e drenagem, da Planta Cadastral Digital, na escala de 1:10.000, para evidenciar principalmente as áreas planas, sujeitas a inundações.

e) Uso e ocupação da terra: elaborado através da fotointerpretação de 6 ortofotos (2010/11) da EMPLASA (em .tif) georreferenciadas, adquiridas em meio digital, na escala original de 1:25.000. As Ortofotos foram: SF-23-Y-A-V-1-NE, SF-23-Y-A-V-1-NO, SF-23-Y-A-V-1-SE, SF-23-Y-A-V-1-SO, SF-23-Y-A-II-3-SE e SF-23-Y-A-II-3-SO. Para a elaboração do cenário mais recente, serão utilizadas imagens do *Google Earth Pro* de 2018 e imagens de satélite de alta resolução disponibilizada no acervo do USGS, sentinel-2 20181022-T1322330 e 20181022-T132229.

5.2 Procedimentos metodológicos

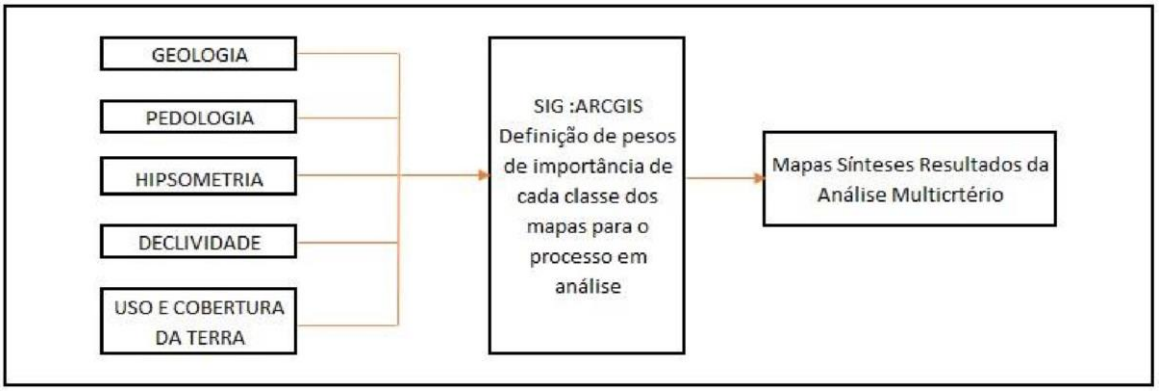
Para a elaboração dos mapas temáticos e para a integração dos dados, foram adotados procedimentos de vetorização e edição, além da aplicação do método de análise multicritérios, visando elaborar os mapas de fragilidade ambiental.

O procedimento metodológico da análise multicritério se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação (PI) ou *layer*, o qual atribui para cada mapa temático influências (em %) e pesos as classes com potencial de risco, de modo hierárquico (em escala de 0 a 5), considerando-se que o valor maior determina maior potencial de impacto. A elaboração do Mapa de Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Tatu, teve como base a proposta de Ross (1994), o qual estabelece 5 graus de fragilidade: 1 – Muito Fraco; 2 – Fraco; 3 – Médio; 4 – Forte e 5 – Muito Forte.

Segundo Ross (1994) uma das formas de abordar a relação entre a variável Geologia, Pedologia, Hipsometria, Declividade, e Uso e Ocupação do solo consiste em aplicar “[...] uma

classificação da fragilidade potencial e emergente a partir de uma associação de dígitos arábicos onde cada um dos números do conjunto numérico representa um determinado peso que [...] varia de 1 a 5, ou seja, do mais fraco ao mais forte [...]" (ROSS, 1994, p. 70). (figura 2).

Figura 15 - Esquema Geral da Análise Multicritério



Fonte: ROSS, 1994. p. 79.

Para o fator inundação, caracterizada pelo transbordamento da região devido à ineficiência do sistema de drenagem da vazão, considerou-se a elevação do terreno como fator preponderante, uma vez que o relevo plano e rebaixado é condição para a ocorrência do acúmulo de água em superfície, além do fator uso e ocupação da terra, que causa a impermeabilização do solo, ampliando o volume do escoamento, contribuindo para os processos de alagamento.

Para a análise da erosão, o relevo também foi considerado como principal fator condicionante a ocorrência de problemas de movimentos de massa e rupturas topográficas, havendo risco maior em terrenos com maior declividade. Em segundo plano, foram considerados a geologia e o uso da terra, atribuindo-se pesos iguais para avaliação deste processo. No caso da geologia, foram levadas em conta as formações mais recentes e menos litificadas, portanto, mais susceptíveis à erosão; quanto ao uso da terra, as áreas com vegetação preservada foram consideradas como menos susceptíveis; para as áreas com ocupação antrópica atribuíram-se pesos intermediários; e, para as áreas de solo exposto, determinaram-se maiores pesos, pois são áreas mais susceptíveis à erosão.

Referente à poluição hídrica, o uso da terra é o fator preponderante, pois reflete diretamente na qualidade das águas, ou seja, no principal fator destacado por Von Sperling (2014): balanço de oxigênio dissolvido (mg/L) - o consumo de oxigênio devido a oxidação da matéria orgânica (respiração) e a produção de oxigênio onde ocorre a reaeração atmosférica. Segundo Von

Sperling (2014, p. 36), “O oxigênio dissolvido (OD) é de essencial importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da concentração do mesmo no meio”.

5.2.1 Levantamento bibliográfico, de documentos cartográficos e produtos sensores

O levantamento bibliográfico sobre a temática foi realizado através de buscas em acervos da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade de São Paulo (USP), em artigos de periódicos e sites especializados, para obter o embasamento teórico-metodológico sobre a temática, o conhecimento sobre a área de estudo e o aprofundamento dos procedimentos metodológicos relativos às geotecnologias. Também, foi realizado um levantamento de documentos cartográficos na prefeitura de Limeira, além das Ortofotos de 2010/2011, obtidas da EMPLASA.

5.2.2 Base cartográfica

Para a delimitação da área de estudo, os dados relativos ao limite municipal, ao perímetro urbano, a rede de drenagem, as curvas de nível e aos pontos cotados foram adquiridos da planta cadastral digital (*dwg*), na escala 1:10.000, obtida na Secretaria de Urbanismo, da Prefeitura Municipal de Limeira/SP e Cordeirópolis/SP. A partir dessa base cartográfica, foram realizados procedimentos de edição referente as linhas incompletas e fragmentadas.

O mapeamento e a integração das variáveis temáticas foram realizados no ambiente do SIG/ARCGIS, adotando-se o sistema de coordenadas UTM e o Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S. Para o mapeamento dos usos e coberturas da terra, foram utilizadas Ortofotos georreferenciadas da Emplasa dos anos de 2010/11, referentes ao município de Limeira – SP e ao município de Cordeirópolis-SP, adquiridas em meio digital na escala 1:10.000. Também, foram adquiridas imagem do *Google Earth* de 2017 ou outra imagem de satélite de alta resolução disponibilizada no acervo do INPE (SPOT ou Pleiades, por exemplos). A imagem mais recente será georreferenciada com base em pontos de controle obtidos nas Ortofotos.

5.2.3 Elaboração dos mapas temáticos

Os mapas temáticos de Geologia, de Solos, Hipsometria, Declividade, Uso da Terra, foram elaborados considerando-se a área compreendida pela Bacia do Ribeirão Tatu, utilizando-se recursos de vetorização e edição do ARCGIS, cujos detalhes são apresentados nos itens subsequentes.

a) Mapa Hipsométrico

O mapa Hipsométrico foi elaborado com base nas curvas de nível (equidistância de 5 m) e nos pontos cotados, existentes na base cartográfica, visando caracterizar o relevo e representar as variações de elevação do perímetro urbano de Limeira. Para o propósito, primeiramente foi criada uma malha triangular, denominada Triangular Irregular Network (TIN).

Após esse procedimento foi realizada uma reclassificação do mapa em 6 classes, divididas de 54 metros em 54 metros, com exceção da primeira classe (em 30m), visando manter a faixa de áreas com potencial natural para enchentes e inundações. A variação altimétrica abrangeu o intervalo entre 520 e 820 metros, adotando-se a sequência do círculo das cores, atribuindo-se verde escuro e verde claro (cores frias) para representar as áreas mais baixas, amarelo e laranja para as áreas de média altitude, e vermelho para as áreas mais elevadas.

b) Mapa de Declividade

Para a elaboração do mapa de declividade, também foi inserido o TIN e utilizada a ferramenta “Slope” do Arcgis. O resultado produzido pelo *software* de modo automático foi reclassificado, fatiando-se os dados em 5 classes, de acordo com o método de Ross (1993), adaptado para atender os objetivos desta pesquisa. Assim, foram estabelecidas as seguintes classes: “0 – 3%”, “3,1 – 6%”, “6,1 – 12%”, “12,1 – 20%”, “> 20%”.

A fim de adequar a metodologia de Ross (1993), foi criada a classe de “0–3%”, pois esta é plana detalhando-se a porção mais plana do relevo, a qual é mais sujeita a inundações. Vale salientar, que as áreas de relevo ondulado também interferem no processo de inundações, pois causam aumento na velocidade do escoamento superficial, contribuindo para agravar as situações de risco às inundações nas porções mais baixas e planas.

c) Mapa Geológico

Para elaboração do mapa geológico, utilizou-se o mapa de Loretti Jr. (2014), na escala de 1:100.000, a fim de caracterizar as formações geológicas presentes na Bacia do Ribeirão Tatu,

sendo estas, parte fundamental da formação geológica da área de estudo.

d) Mapa Pedológico

A elaboração do mapa de Solos foi realizada através da carta pedológica do Instituto Agronômico de Campinas-IAC (2012), referente a quadrícula Campinas, na escala 1:50.000. O solo predominante na bacia denomina-se Latossolo vermelho, o qual é suscetível a contaminação devido a suas características físicas relativas a permeabilidade, podem ser degradados através da compactação e erosão.

e) Mapa de Uso da Terra

Para a elaboração do mapa de Uso da Terra foram considerados os diferentes usos dentro da Bacia do Ribeirão Tatu, levando-se em conta que as classes relacionadas a permeabilidade e erodibilidade influenciam diretamente no escoamento superficial e processos erosivos. Diante do exposto, foram estabelecidas as seguintes classes descritas na figura 16. Com base na determinação das classes de uso, realizou-se a fotointerpretação das Ortofotos (2010/11) e o mapeamento manual das classes pré-estabelecidas, gerando-se um polígono para cada objeto identificado. Para a delimitação das classes, foram utilizados os elementos de interpretação de imagens, propostos por Florenzano (2011): cor, textura, tamanho, forma, padrão e localização geográfica (figura x-FAZER). De acordo a autora, as chaves de interpretação são um conjunto de elementos que caracterizam determinado objeto, auxiliando na sistematização e orientando o processo de análise e interpretação de imagens, contribuindo para identificação consistente e organizada.

Figura 16 - Chave de Interpretação das classes de uso e ocupação

Cor (IBGE)	Classe	Definição	Chave de Interpretação
	Agricultura	Áreas de cultivo, de cana de açúcar, por exemplo. É uma área com boa infiltração, apresentando períodos com solo exposto e outros com cultivo	
	Corpo d'água	Representados por lagoas, córregos e rios.	

	Gramínea	Áreas com vegetação rasteira, que apesar de permitirem a infiltração das águas das chuvas e amenizarem o escoamento superficial, não têm a mesma eficiência da vegetação arbórea/arbustiva. Exemplos: canteiros de sistemas viários, setores próximos aos rios e áreas não ocupadas.	
	Pastagem	Áreas destinadas a alimentação do gado. O manejo incorreto dessas áreas é a principal causa de perda e degradação de pastagens, comprometendo a qualidade do solo referente às suas características físicas, podendo causar a erosão por exemplo.	
	Pecuária	Áreas localizadas na zona rural, destinadas à criação de gado, (bois, porcos, aves, cavalos, ovelhas, etc).	
	Solo exposto	Áreas que não apresentam nenhum tipo de construção ou vegetação; são permeáveis, mas dependendo do seu grau de compactação e da ausência da vegetação, não conseguem reter muita água da chuva, portanto, não são tão eficientes para amenizar os eventos de inundação.	
	Urbano Industrial	Áreas totalmente impermeabilizadas, agrupando uma série de atividades industriais, podendo ser fontes de poluição.	
	Urbano Loteamento	Áreas definidas por quadras, com ou sem asfalto, guias, iluminação, podendo abranger poucas construções, solo exposto e gramíneas; são áreas ainda em processo de consolidação e que, geralmente, num curto período, se tornarão impermeáveis.	
	Urbano Residencial	Essas áreas se caracterizam por serem totalmente impermeabilizadas, reduzindo a absorção das águas pelo solo e intensificando o processo de inundação. Exemplos: áreas densamente ocupadas, comércio; moradias e edificações; ruas e	

		sistemas viários.	
	Vegetação arbórea	Áreas que apresentam vegetações de médio e alto porte, como árvores e arbustos, auxiliando na infiltração. Dependendo do tipo de solo, têm uma expressiva retenção de água da chuva, resultando em uma adequada absorção pelo solo. Exemplos: APP, áreas de reflorestamentos, áreas verdes, etc.	

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Elaborou-se também o Mapa de Uso e Ocupação da Terra para o ano 2018, a fim de analisar a dinâmica das atividades presentes na Bacia do Ribeirão Tatu. Para esta classificação foram utilizadas imagens de satélite Sentinel-2 com resolução de 10 m, a qual foi feita a composição de bandas – cor verdadeira (RGB 04/03/02).

f) A elaboração de Mapas de Fragilidade à Erosão, à Inundação e à Poluição Hídrica através da integração de mapas temáticos

Para elaboração dos mapas de Fragilidade à Erosão, à Inundação e à Poluição Hídrica, foi efetuada a integração dos mapas temáticos através do método de análise multicritérios (ferramenta *Weighted Overlay*) atribuindo-se influências (em %) para as variáveis (mapas Hipsométrico, Declividade, Pedologia, Geologia e Uso da Terra). Utilizou-se como base a proposta de Ross (1994), a qual atribui pesos para cada classe temática, de modo hierárquico, adotando-se a escala de 0 a 5, o qual estabelece 5 graus de fragilidade: 1 – Muito Fraco; 2 – Fraco; 3 – Médio; 4 – Forte e 5 – Muito Forte.

As tabelas 3, 4 e 5 evidenciam as variáveis que foram integradas, os valores das influências de cada variável e dos pesos das classes temáticas, para a elaboração dos mapas de fragilidade à Erosão (tabela 3), à Inundação (tabela 4) e a Poluição Hídrica (tabela5).

Tabela 3 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Erosão

Mapa	%	Classe	Peso	Mapa	%	Classe	Peso
Declividade	30	0 - 3	1	Uso da Terra	30	Agricultura	5
		3,1 - 6	2			Corpo d'água	4
		6,1 - 12	3			Gramínea	2
		12,1 - 20	4			Pastagem	5
		> 20	5			Pecuária	4
Pedologia	20	Argissolo vermelho amarelo	2			Solo exposto	5
		Gleissolo háplico	5			Urbano-Industrial	3
		Latossolo Vermelho	3			Urbano-Loteamento	5
		Latossolo vermelho amarelo	4			Urbano-Residencial	3
		Neossolo litólico	1			Vegetação arbórea	1
Geologia	5	Formação Corumbataí	2	Hipsométrico (m)	15	520	1
		Grupo Itararé	3			550	2
		Formação Irati	2			604	3
		Formação Piramboia	5			658	4
		Formação Serra Geral	1			712	5
		Formação Tatuí	2			>766	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 4 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Inundação

Mapa	%	Classe	Peso	Mapa	%	Classe	Peso
Declividade	25	0 - 3	5	Uso da Terra	30	Agricultura	1
		3,1 - 6	4			Corpo d'água	3
		6,1 - 12	2			Gramínea	2
		12,1 - 20	1			Pastagem	1
		> 20	1			Pecuária	1
Pedologia	15	Argissolo vermelho amarelo	1			Solo exposto	3
		Gleissolo háplico	2			Urbano-Industrial	3
		Latossolo Vermelho	3			Urbano-Loteamento	2
		Latossolo vermelho amarelo	3			Urbano-Residencial	4
		Neossolo litólico	1			Vegetação arbórea	1
Geologia	5	Formação Corumbataí	1	Hipsométrico (m)	25	520	5
		Grupo Itararé	1			550	5
		Formação Irati	1			604	4
		Formação Piramboia	1			658	3
		Formação Serra Geral	1			712	2
		Formação Tatuí	1			>766	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Tabela 5 - Variáveis temáticas, Influências e Pesos de cada classe temática - Mapa de Fragilidade à Poluição Hídrica

Mapa	%	Classe	Peso	Mapa	%	Classe	Peso
Declividade	15	0 - 3	5	Uso da Terra	50	Agricultura	5
		3,1 - 6	4			Corpo d'água	1
		6,1 - 12	3			Gramínea	1
		12,1 - 20	2			Pastagem	2
		> 20	1			Pecuária	4
Pedologia	20	Argissolo vermelho amarelo	2			Solo exposto	3
		Gleissolo háplico	3			Urbano-Industrial	5
		Latossolo Vermelho	5			Urbano-Loteamento	2
		Latossolo vermelho amarelo	5			Urbano-Residencial	5
		Neossolo litólico	1			Vegetação arbórea	1
Geologia	5	Formação Corumbataí	1	Hipsométrico (m)	10	520	5
		Grupo Itararé	1			550	4
		Formação Irati	1			604	3
		Formação Piramboia	1			658	2
		Formação Serra Geral	1			712	1
		Formação Tatuí	1			>766	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

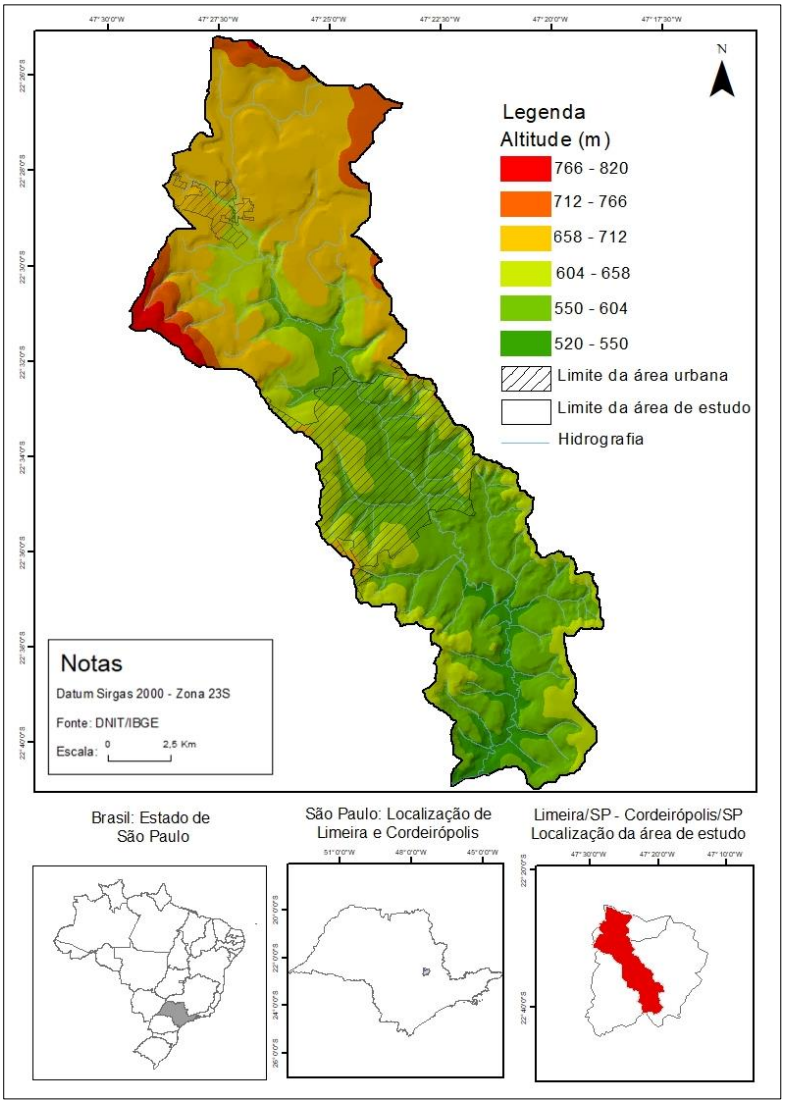
Através da integração dos mapas temáticos, associados as informações secundárias (pesquisas bibliográficas, notícias de jornais), foi possível identificar as áreas de fragilidade à erosão, inundação e poluição hídrica

6.1 Análise dos mapas temáticos

Os mapas temáticos permitiram conhecer as características de uso e ocupação das Terras da Bacia do Ribeirão Tatu e avaliar o aspecto de impermeabilização do solo e aspectos físicos como geologia, pedologia, hipsometria e declividade, variáveis fundamentais para analisar as áreas frágeis à erosão, inundação e poluição hídrica. Além disso, foi possível analisar o conflito de uso nas APP.

Desse modo, o mapa hipsométrico apresentado na figura 17, representa a variação altimétrica da área de estudo, cujas faixas de altitude estão evidenciadas das cores frias para as cores quentes, ou seja, dos pontos mais baixos para os mais elevados.

Figura 17 - Mapa Hipsométrico



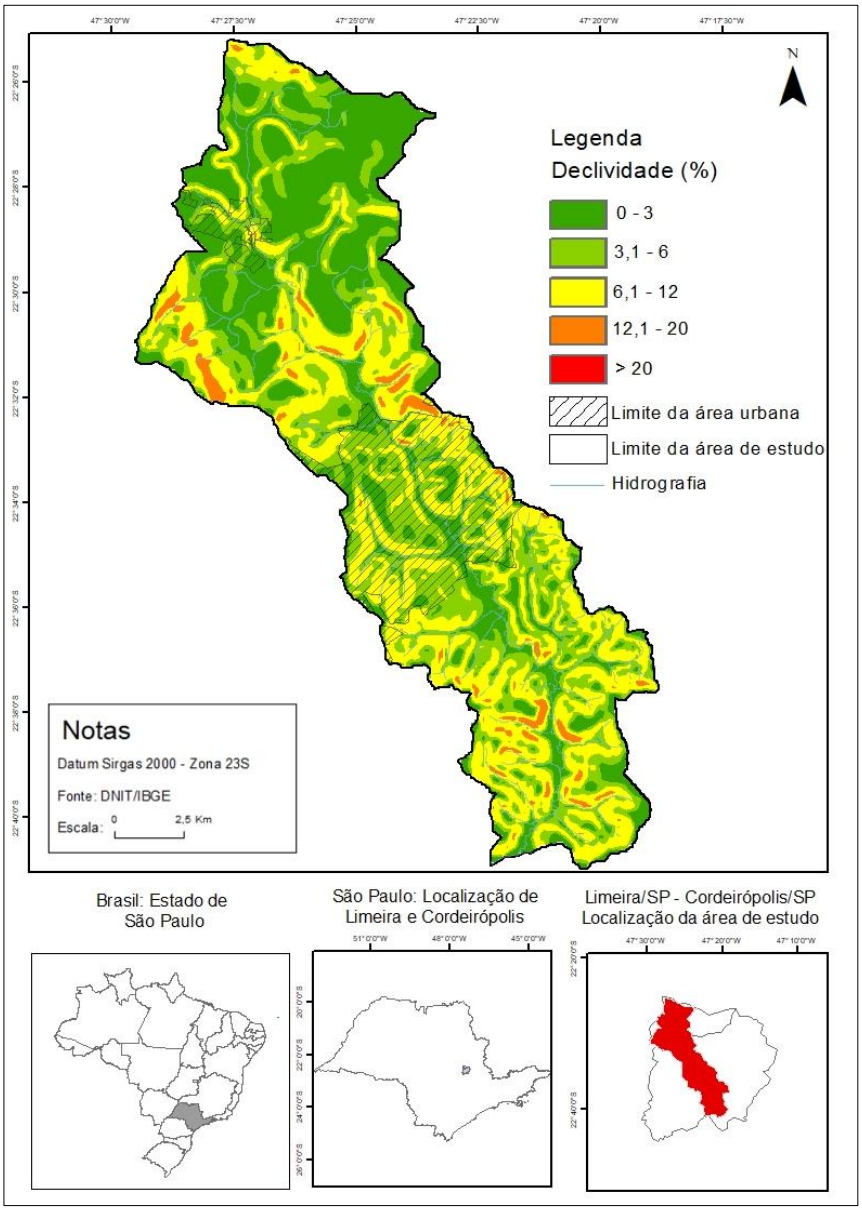
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que a área urbana de Limeira/SP, localizada na porção central da bacia, apresenta altitudes predomintantes nos intervalos de 550-604 e 604-658m. Já o município de Cordeirópolis/SP, ao norte da bacia, abrange as faixas de altitude de 604-658 e 658-712m. Assim, de modo geral, os municípios são caracterizados por altitudes baixas e médias respectivamente. Vale ressaltar que a parte central da área urbana de Limeira/SP caracteriza-se por estar em uma das porções mais baixas da bacia do ribeirão Tatu.

O mapa temático de declividade (figura 18) mostra que a área de estudo é predominantemente plana. A classe entre 0-3% é dominante ao norte da bacia, onde se situa o

município de Cordeirópolis/SP. Essa faixa de declividade também está presente na parte central da área urbana de Limeira/SP, a qual é interceptada pelo Ribeirão Tatu.

Figura 18 - Mapa de Declividade



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

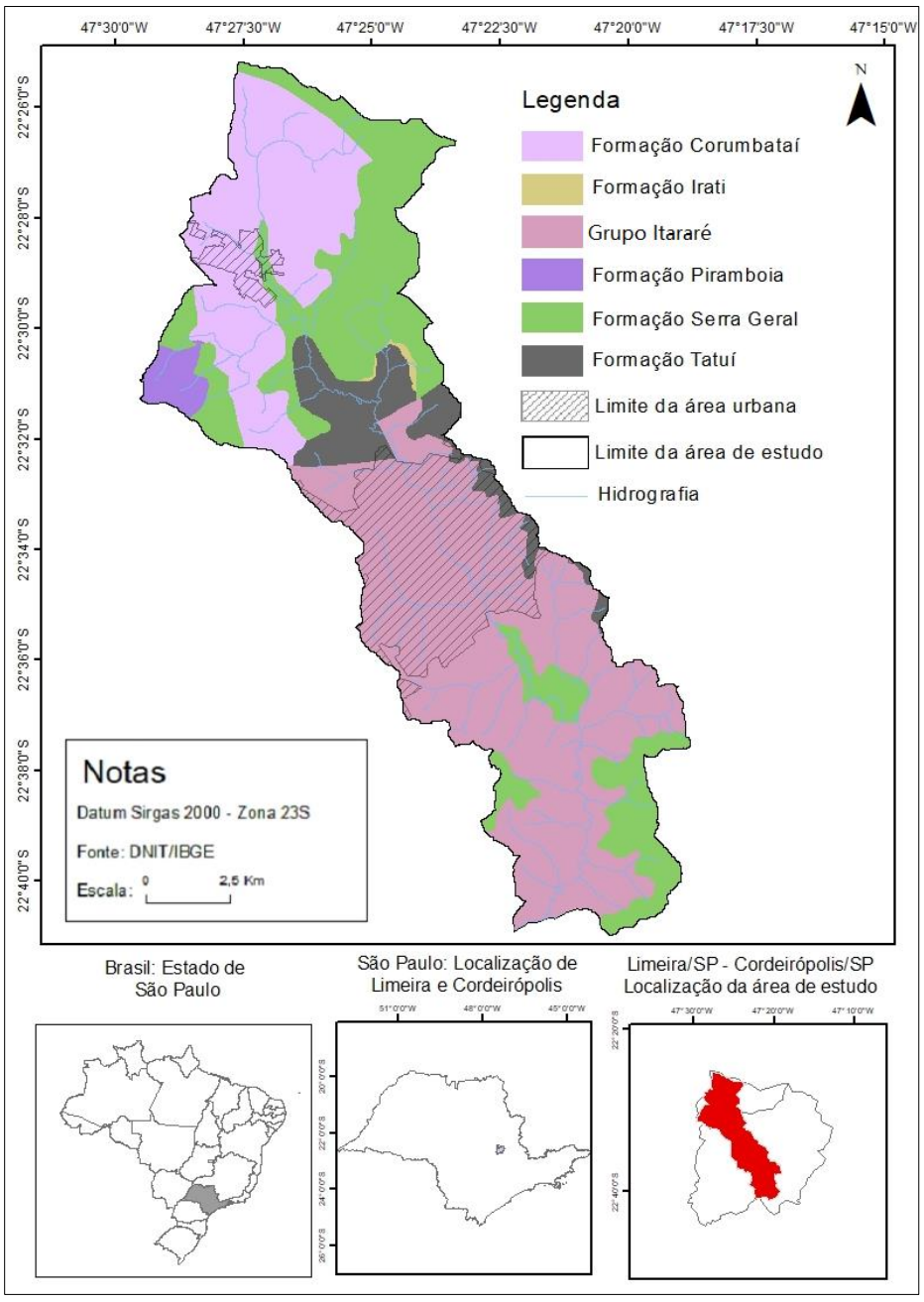
Vale salientar, que esta classe de declividade é relevante para estudos de fragilidade ambiental, pois é propícia a eventos de inundações.

A classe de 6,1-12% representa grande parte da bacia e também está presente no município de Limeira/SP. Em menor representatividade tem-se a classe de 3,1-6%.

Referente ao mapa geológico (figura 19) verifica-se a predominância do Grupo Itararé, sendo constituída por sedimentos arenosos, abrangendo grande parte do município de Limeira/SP,

representando 44,5% da bacia. Na porção norte onde se encontra o município de Cordeirópolis há predominância da Formação Corumbataí na qual realiza-se a extração de argila, efetuada em cotas topográficas muito baixas, provocando a exposição do lençol freático na forma de lagos o que causa intensa evaporação da água (VIEIRA, 2018).

Figura 19 - Mapa Geológico

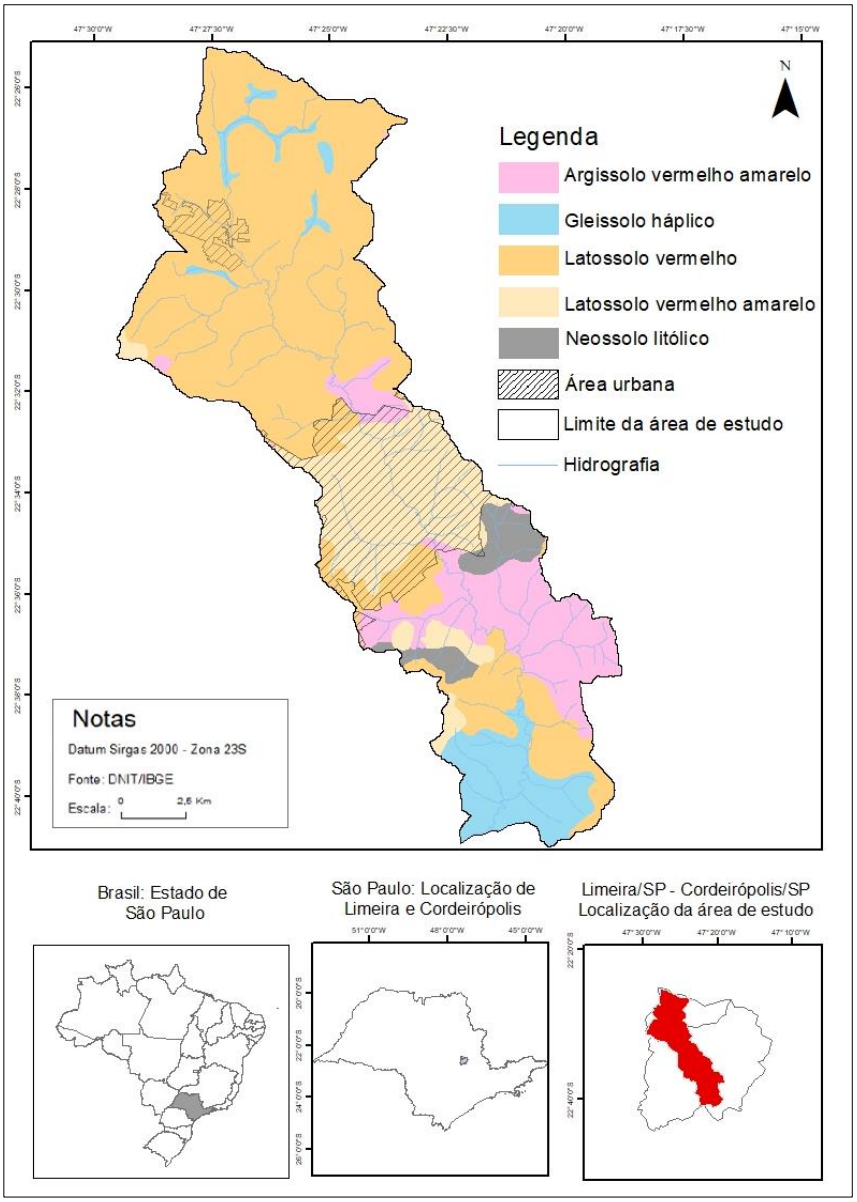


Fonte: Elaborado pela autora (2018).

De acordo com o mapa pedológico (figura 20) é possível observar que o solo predominante na bacia é o Latossolo vermelho, o qual é suscetível a contaminação devido a suas características físicas

referentes à permeabilidade, podendo ser degradados através da compactação e erosão.

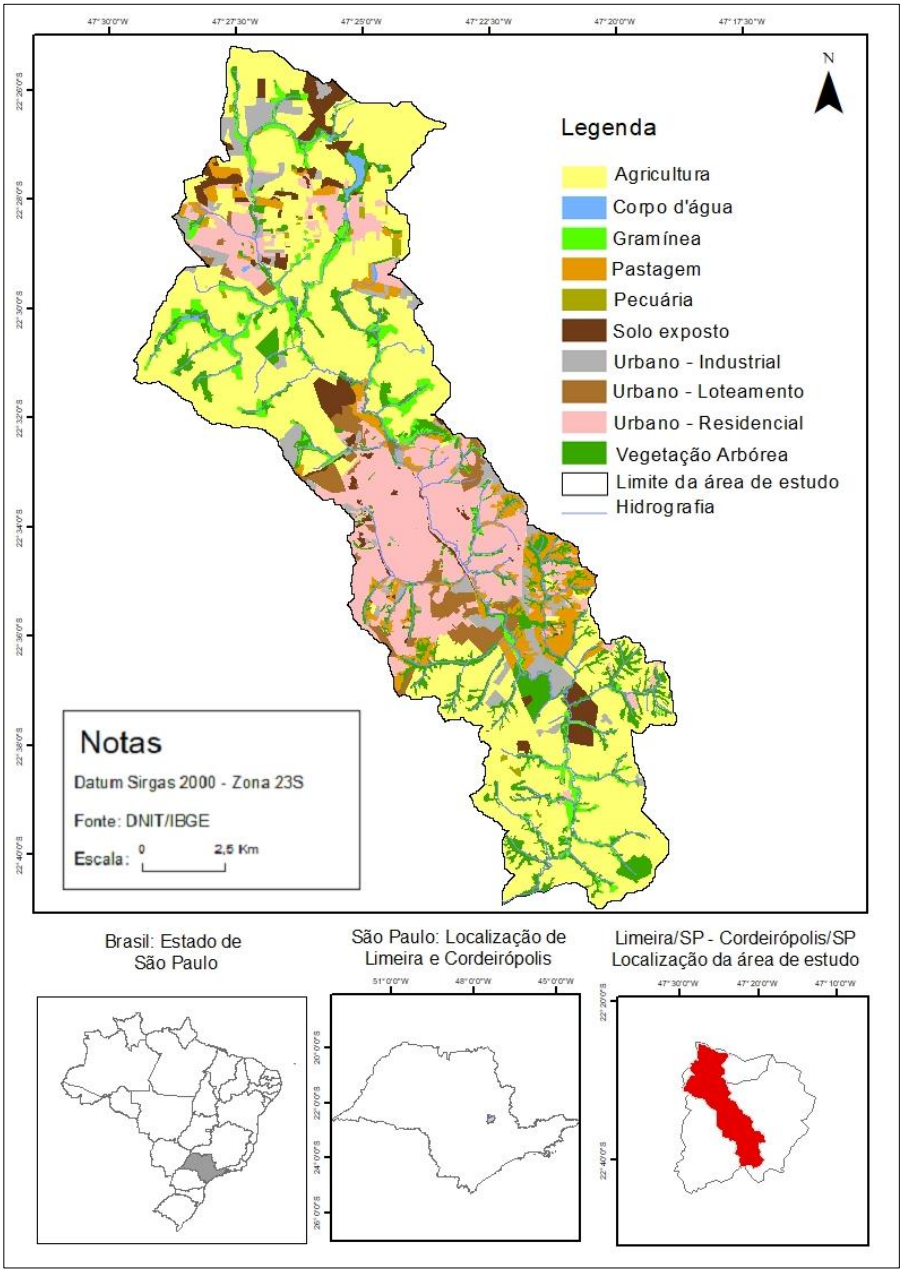
Figura 20 - Mapa Pedológico



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

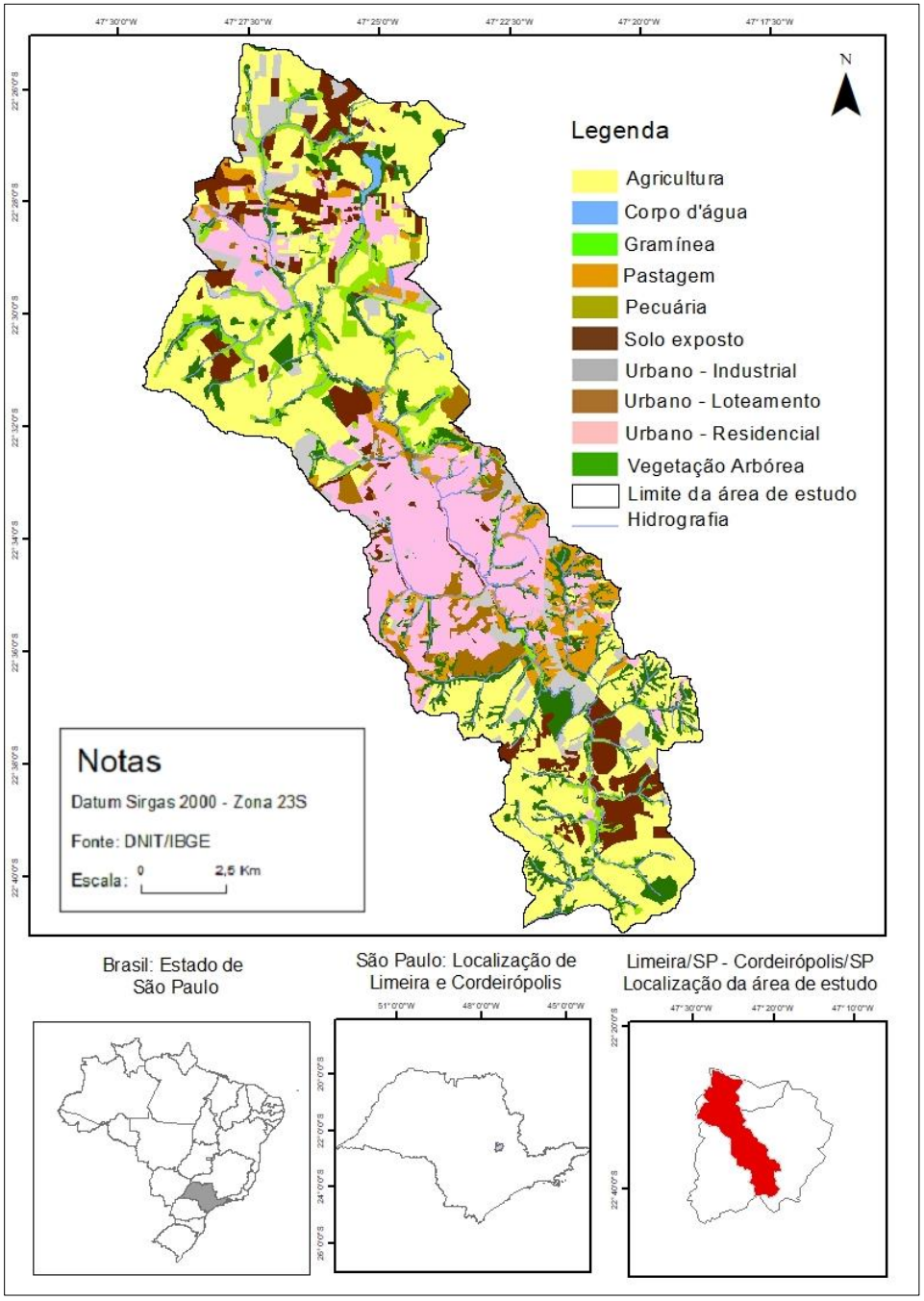
Os mapas temáticos representados nas figuras 21 e 22 , referm-se ao Uso e Ocupação da Terra abrangeram os cenários de 2010 e 2018, permitindo-se identificar as alterações ocorridas nesse período e quais usos são predominantes na Bacia.

Figura 21 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra 2010/2011



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 22 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra 2018

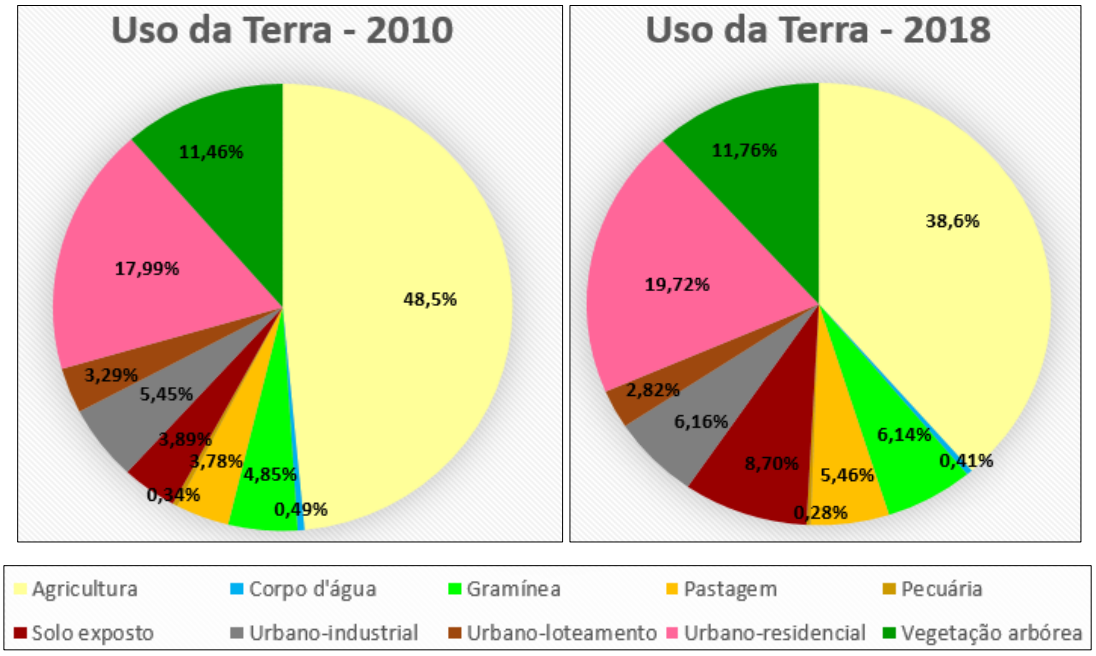


Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A figura 21 apresenta a proporção das classes de uso em cada cenário, permitindo-se estabelecer uma comparação e verificar que mesmo tendo havido uma redução em 9,9% entre 2010 e 2018, há predominância das atividades agrícolas na bacia. Cabe destacar, que a região onde se localiza o município de Limeira, integra o ciclo da cana-de-açúcar existente no Estado de São Paulo.

Em seguida, o uso de maior importância correspondeu ao setor urbano-residencial, onde se pode mensurar um aumento de 1,73%; conforme se pode verificar no mapa (figura 23) houve uma pequena expansão ao norte e ao sul do município de Cordeirópolis/SP e Limeira/SP. Também, é importante ressaltar o crescimento das áreas urbanas de ambos os municípios em áreas próximas aos cursos d'água, o que tem ocasionado eventos de inundações, os quais têm sido divulgados pelos jornais locais

Figura 23 - Uso e Ocupação da Terra - Cenários 2010 e 2018



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Vale salientar que houve um expressivo aumento da classe solo exposto em 2018, atingindo 8,7%, excedendo o dobro da área que existia em 2010 (3,89%), ampliando 4,81%. As áreas onde houve aumento dessa classe consistiam em antigas áreas de cultivo e APP localizadas ao sul da bacia.

Referente fração urbano-industrial houve um aumento de 0,71%, no município de Cordeirópolis/SP, devido à expansão das áreas de mineração; esse município faz parte do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, o maior polo cerâmico da América Latina. No município de Limeira houve um aumento de áreas relacionadas às pedreiras, as quais referem-se a um tipo de mineração a céu aberto, presente ao sul da bacia.

Quanto à classe vegetação arbórea, embora tenha havido um pequeno aumento na área ocupada por essa classe entre 2010 e 2018, verificou-se que essa não atende ao determinado pela Lei nº 12.751/12, podendo-se notar a escassez de vegetação em áreas de preservação permanente (APP). Além disso, notou-se uma baixa presença da vegetação arbórea área urbana dos municípios.

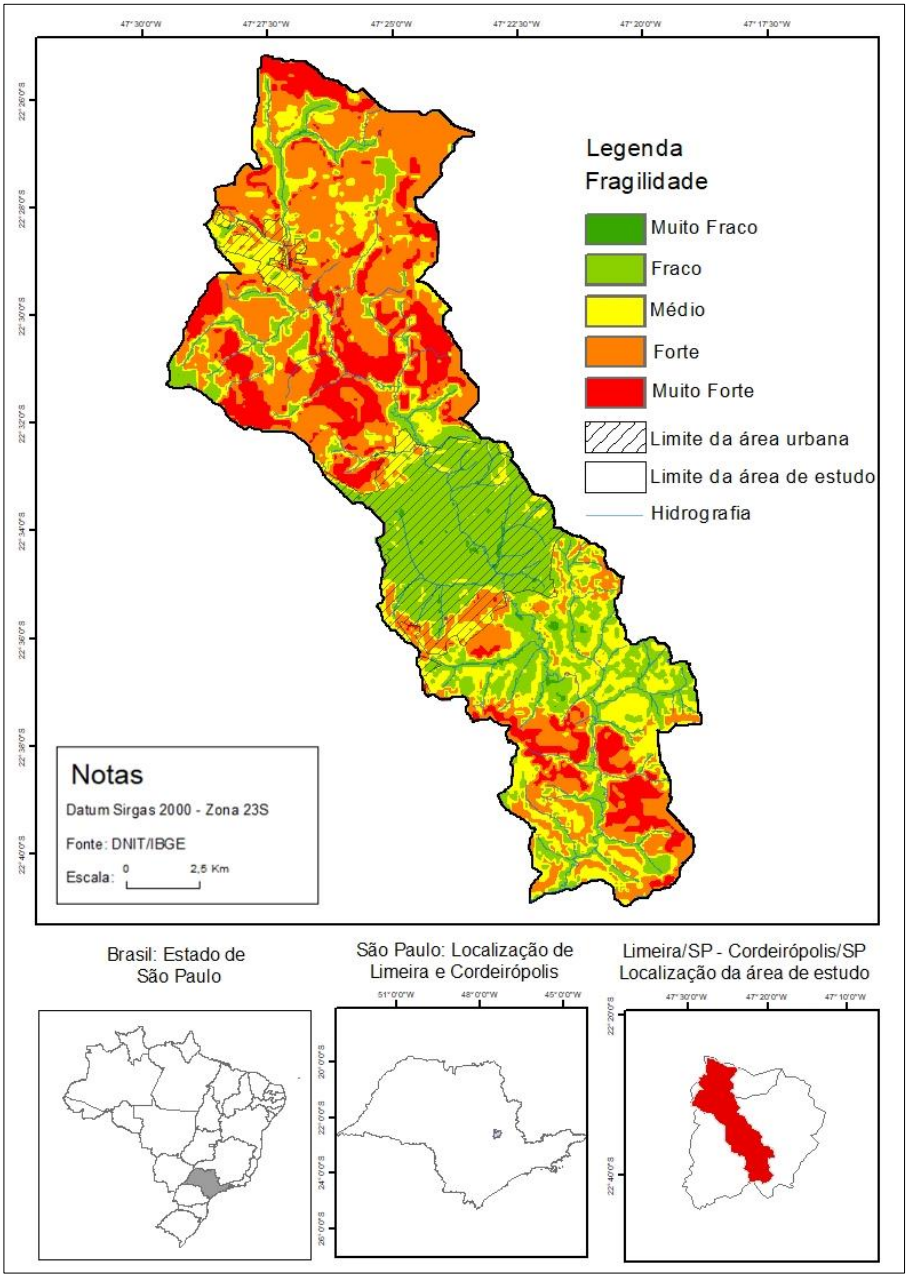
6.1.1 Mapa de Fragilidade à Erosão

O mapa síntese (figura 24), gerado através da integração dos mapas temáticos, permitiu identificar e classificar as áreas frágeis à erosão, resultando na seguinte classificação de risco: “Muito Fraco”, “Fraco”, “Médio”, “Forte” e “Muito Forte”.

Foi possível verificar que a bacia do ribeirão Tatu apresenta risco Muito Forte à erosão nas porções rurais onde existe a predominância de Latossolo vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, esse processo é intensificado com a presença de solo exposto, quando estes materiais são carreados para os cursos d’água causam o assoreamento, o qual pode ser verificado no município de Limeira. Foram realizados obras de desassoreamento do ribeirão Tatu em 2018.

Segundo Guimarães (2000) ações como dragagem para desassoreamento de rios são ações corretivas e para mitigar o impacto devem ser implementas ações preventivas como por exemplo o plantio em curvas de nível que impede o fluxo laminar.

Figura 24 - Mapa de Fragilidade à Erosão



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6.1.2 Mapa de Fragilidade à Inundação

O mapa síntese (figura 27), gerado através da integração dos mapas temáticos, permitiu identificar e classificar as áreas frágeis à inundações, resultando na seguinte classificação de risco: “Muito Fraco”, “Fraco”, “Médio”, “Forte” e “Muito Forte”. Com isso, foi possível identificar as áreas com maior risco de acontecer este evento, também foi possível identificar que a urbanização é um dos fatores que potencializam essa ocorrência e vale ressaltar que existe uma diferença entre a fração urbanizada dos municípios que estão presentes na bacia do ribeirão Tatu. Segue abaixo modelo da equação utilizada para o cálculo da porcentagem urbanizada nos municípios

$$Porcentagem\ Urbanizada = \frac{Área\ Urbana}{Área\ Total} * 100$$

Para o município de Cordeirópolis a fração urbanizada é de 8,03 % e analisa-se que não há um complexo adensamento.

$$Porcentagem\ Urbanizada\ de\ Cordeirópolis = \frac{11\ Km^2}{137\ Km^2} * 100 = 8{,}03\ \%$$

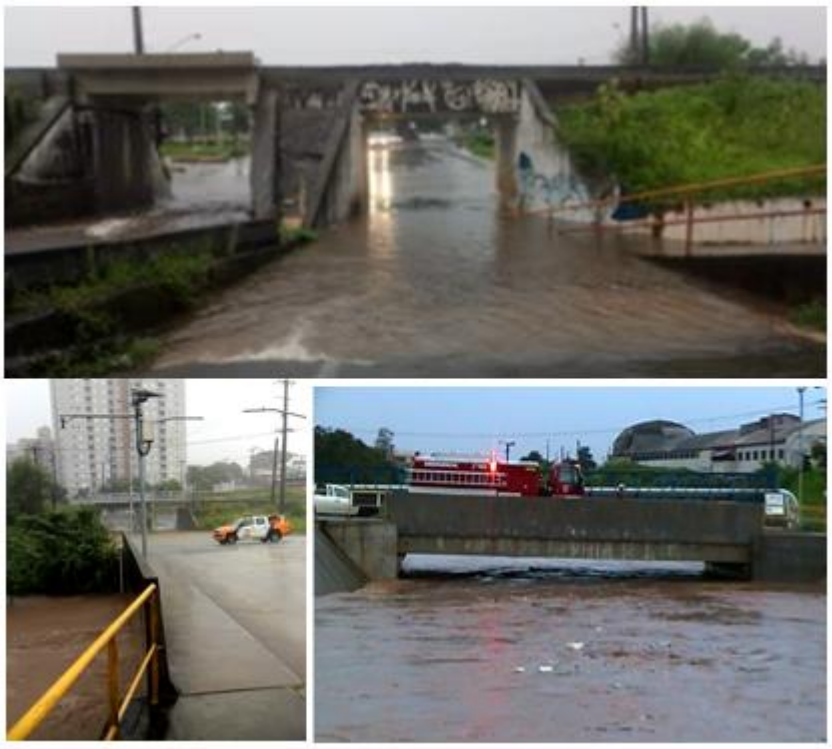
Para o município de Limeira a fração urbanizada é de 10,14%. Existe uma pequena diferença entre o município de Cordeirópolis, porém há uma rede de drenagem que dificulta o escoamento do fluxo de água superficial.

$$Porcentagem\ Urbanizada\ de\ Limeira = \frac{58{,}94\ Km^2}{581\ Km^2} * 100 = 10{,}14\%$$

Dessa forma a porcentagem total urbanizada da bacia do ribeirão Tatu é de 34,97%, segundo a classificação da Cetesb é considerada uma bacia industrializada.

A Bacia do Ribeirão Tatu, mostra-se com o resultado Forte e Muito Forte em sua porção central, no seu médio curso se localizam próximas ao ribeirão Tatu, córrego Barroca Funda, proximidades da Av. Laranjeiras, córrego do Vargas e córrego Vista Alegre, a qual corresponde a uma área com menor altitude (entre 500 e 600 m), que vai receber um grande volume de água, aliado ao uso inadequado do solo, confirma a alta fragilidade da área. O processo de inundação ocorre somente à montante, ou seja ao passar pela ponte preta o curso do rio segue sem extravasamento. Pode-se relacionar esse evento a existência de obras de engenharia da sustentação da ponte que podem obstruir o canal de drenagem conforme verificado na figura 25, onde dificulta-se o fluxo da água nesse local assim ocorre o aumento do nível das águas provocando o extravasamento que é direcionado para o trecho que possui um rebaixamento de nível para possibilitar a passagem de veículos embaixo da linha do trem (SEMA LIMEIRA,2019).

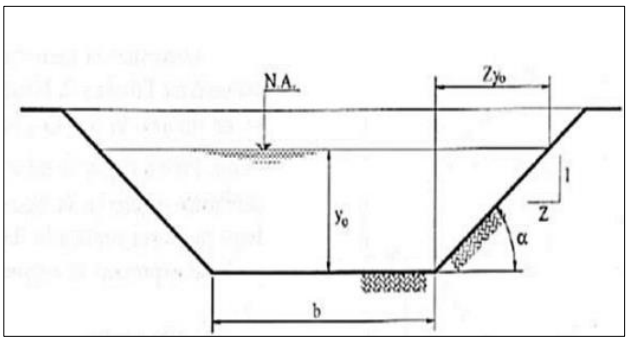
Figura 25 - Ponto de Inundação



Fonte: Gazeta de Limeira (2018).

Dessa forma a estrutura trapezoidal (figura 26) construída para sustentação da ponte potencializa o estangulamento do curso d'água, logo é necessário para mitigar o impacto realizar estudos hidráulicos-hidrológicos para obter dados da vazão de pico, tempo de concentração, duração da precipitação, tempo de retorno e intensidade da chuva (MORAES, 2014).

Figura 26 - Estrutura de um canal trapezoidal

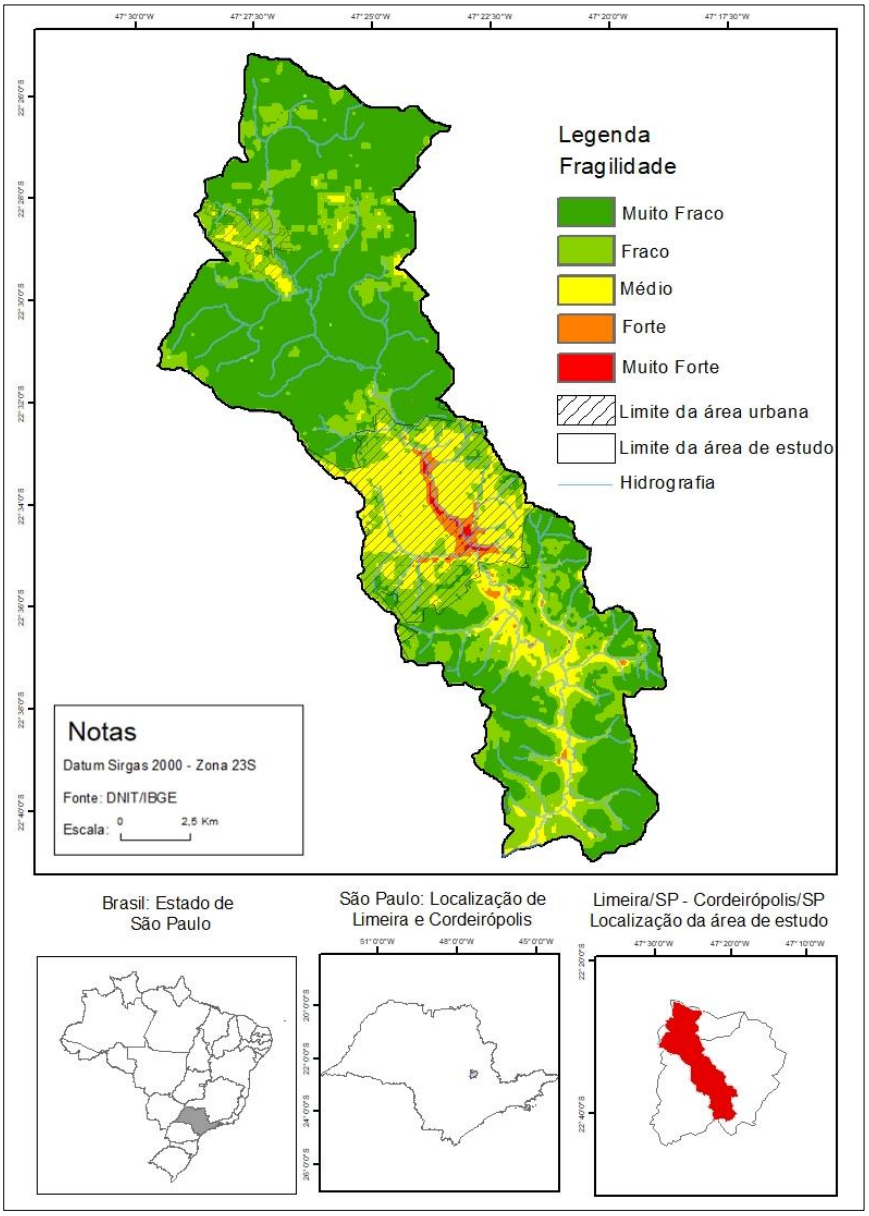


Fonte: Calijuri, 2007.

Já no município de Cordeirópolis existem níveis de fragilidade fraco e médio devido uma densidade menor urbanizada e também pela existência de uma maior quantidade de áreas verdes. O nível médio está localizado na área baixa da avenida Aristeu Marcicano e um evento pontual situado no bairro Jardim Eldorado. Na avenida Aristeu Marcicano foi realizado obras de melhoria na galeria de água pluvial como por exemplo desobstrução de tubulações e inserção de bocas de

lobo, também foi realizado em 2018 a construção da bacia de contenção a montante da Avenida Aristeu Marcicano. Referente ao bairro Jardim Eldorado existe uma ocupação irregular próxima a uma área de várzea, segundo assessor da Secretaria Municipal de Meio Ambiente Fábio Luiz Cassiano, já iniciou-se o processo de realocação das famílias que se encontravam nesse local e também existe fiscalização para que não seja instalado mais habitações irregulares (SEMA CORDEIRÓPOLIS,2019).

Figura 27 - Mapa de Fragilidade à Inundação



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

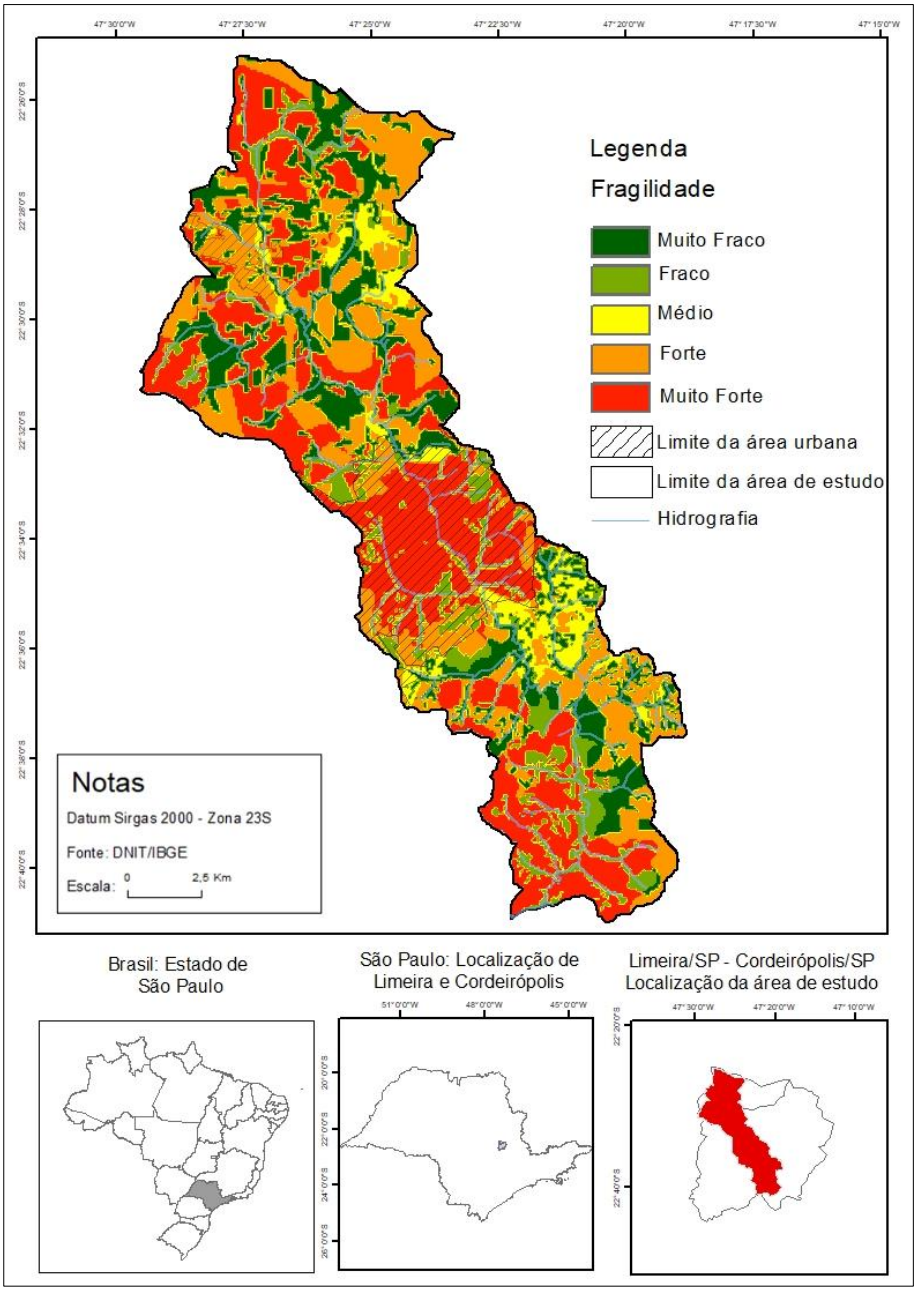
6.1.3 Fragilidade à Poluição hídrica

O mapa síntese (figura 28), gerado através da integração dos mapas temáticos, permitiu

identificar e classificar as áreas frágeis à poluição hídrica, resultando na seguinte classificação de risco: “Muito Fraco”, “Fraco”, “Médio”, “Forte” e “Muito Forte”.

Pode-se analisar a bacia apresenta risco de fragilidade Muito Forte em todos os setores do ribeirão Tatu, conforme apresentado no mapa abaixo.

Figura 28 - Mapa de Fragilidade à Poluição Hídrica



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No alto curso no município de Cordeirópolis considerado uma região produtora de águas devido as suas nascentes, apresenta grande concentração de indústrias cerâmicas, uma vez que estas se localizam próximos ao curso d’água e juntamente com a ausência de Áreas de Preservação

Permanente, gera um alto riso de poluição das águas.

No médio curso na área rural a montante do município de Limeira existe uma intensa atividade agrícola com ausência em grande parte da propriedade da vegetação nativa ao longo dos cursos d'água, dessa forma não existe o cumprimento da legislação vigente, o novo código florestal, para preservação do ribeirão Tatu e seus afluentes.

O município de Limeira também localizado no médio curso também apresenta alto risco, classificado como Muito Forte devido à grande concentração de indústrias de galvanoplastia, onde diversas indústrias realizam o descarte de efluentes sem tratamento no ribeirão Tatu, pelo fato da classificação deste ribeirão ser 4, monitora-se os seguintes parâmetros: OD, pH, temperatura. Segundo a Cetesb não existe uma restrição quanto ao padrão de lançamento para metais provenientes destas indústrias, porém segundo responsável pela avaliação das qualidade da água do ribeirão Tatu, existe medição semanal de todos os parâmetros do Índice de Qualidade das Águas (IQA), no ponto a jusante da bacia, e estuda-se junto ao Comitê da Agência-PCJ a reclassificação do ribeirão Tatu.

Conforme pode-se verificar na tabela 6 os resultados obtidos pelo monitoramento.

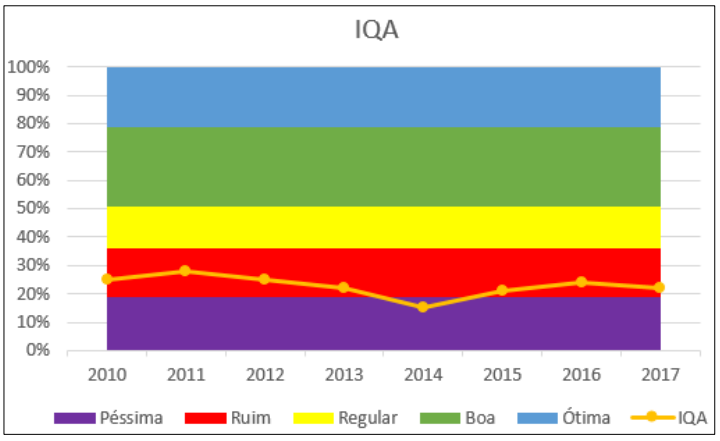
Tabela 6 - Média anual IQA ribeirão Tatu entre os anos de 2010 e 2017

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
IQA	25	28	25	22	15	21	24	22

Fonte: Dados CETESB, 2019.

Dessa forma elaborou-se o gráfico (figura 29) do Índice de Qualidade de Água (IQA).

Figura 29 - IQA ribeirão Tatu entre os anos de 2010 e 2017



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Uma grande melhoria que já está em andamento é a construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no município de Cordeirópolis, este libera todo efluente doméstico "in natura", porém a partir de novembro será inaugurada a ETE, a qual possuirá o tratamento primário 100% do efluente.

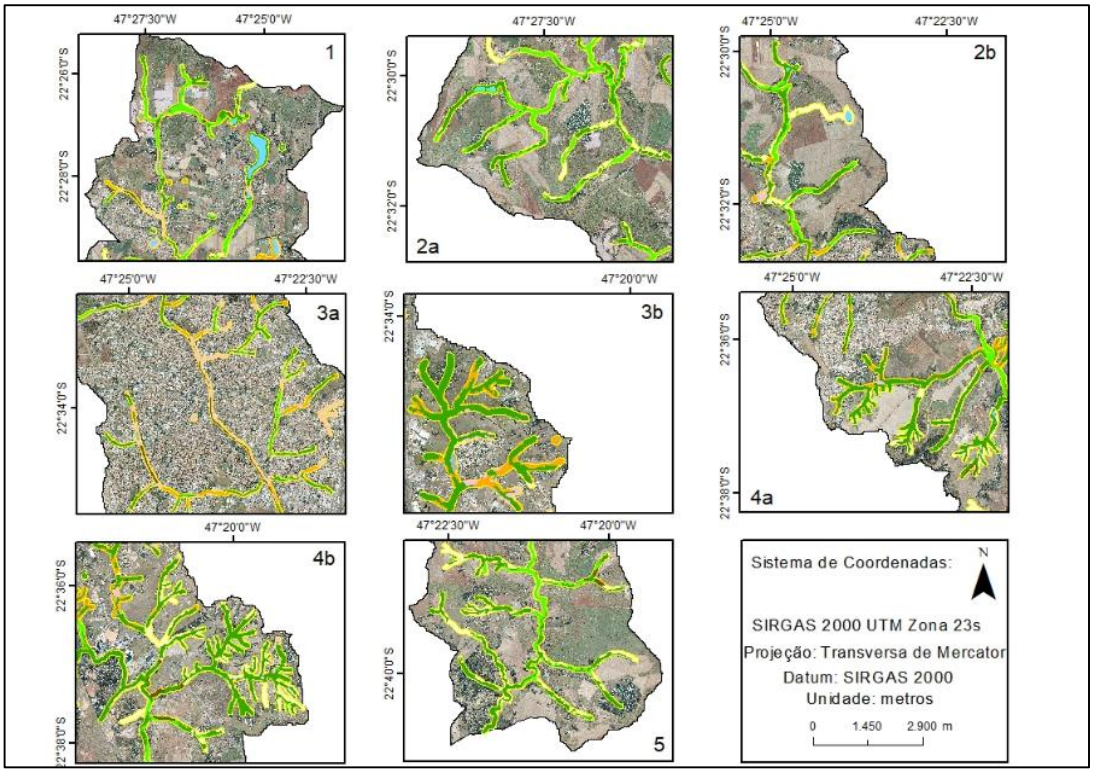
6.1.4 Mapa de Área de Preservação Permanente da Bacia do Ribeirão Tatu

O mapa de conflitos de usos nas áreas de preservação permanente de 2010/11 da bacia do ribeirão Tatu foi dividido em 8 seções: 1, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5 (figura 30).

O uso predominante nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão Tatu é representado pela vegetação arbórea, a qual corresponde a 48,04%. A fração restante (51,96%) refere-se a diversas atividades que não atendem a legislação ambiental (Lei 12.651/12), podendo-se destacar as classes: gramíneas, representando 19,09%; áreas agrícolas, ocupando 15,43%; pastagem, abrangendo 6,59%; e, áreas urbanas residenciais, ocupando 6,13% (figura 31).

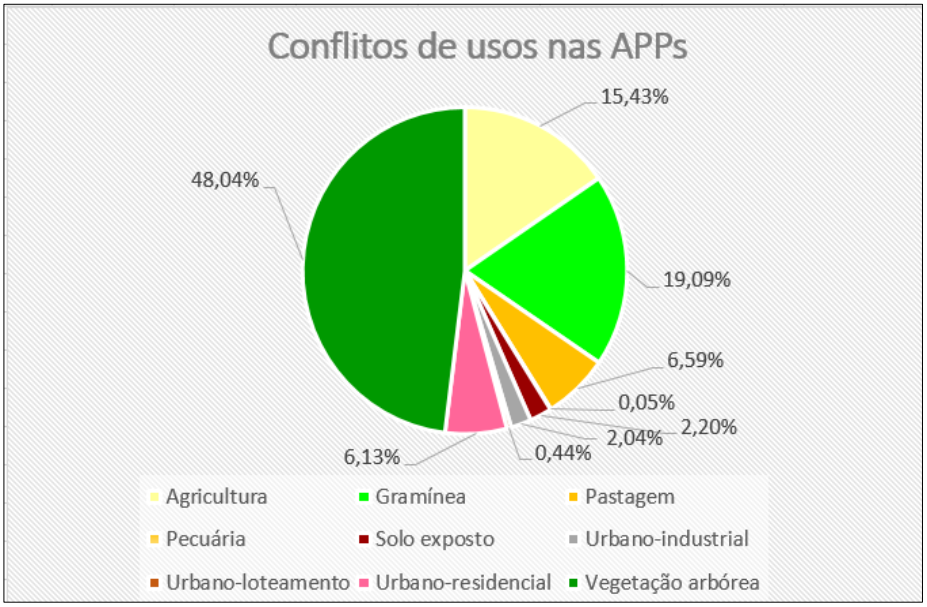
Assim, os usos que não atendem a legislação não garantem a proteção das margens dos rios, a presença de gramíneas não são eficazes para conter processos erosivos, o uso representado pela agricultura pode contribuir para a contaminação dos cursos d'água atraves da utilização de defensivos agrícolas, as pastagens também são ineficazes para proteção contra erosões e as áreas urbanas residenciais são caracterizadas pela impermeabilização do solo comprometendo a infiltração

Figura 30 - Conflito de Usos na Área de Preservação Permanente – Cenário de 2018



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 31 - Conflito de Usos na Área de preservação Permanente – Cenário de 2018



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6.2 Trabalho de campo

Durante o desenvolvimento da pesquisa, realizou-se 4 trabalhos de campo, sendo que 3 desses foram realizados para avaliar os mapas de fragilidade, verificando-se as áreas com níveis muito forte referente às fragilidades erosão, inundação e poluição hídrica. O outro trabalho de campo foi efetuado para verificar as condições das áreas de preservação permanente do curso d'água do Ribeirão Tatu em seu médio curso o qual refere-se a área urbana do município de Limeira, no segmento não canalizado.

Os pontos foram posicionados com o auxílio do GPS de navegação e durante as visitas foram realizadas observações e registros fotográficos, a fim de realizar a caracterização das áreas quanto aos aspectos físico-naturais e antrópicos (tipos de usos, impactos ambientais, etc.).

6.2.1 Fragilidade à Inundação

O trabalho de campo foi realizado no dia 10 de agosto de 2018, cujo objetivo foi analisar a área urbana de Limeira/SP, a fim de identificar e caracterizar as áreas sujeitas à inundação. Essa atividade foi realizada juntamente com a Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher e o aluno do curso de graduação em Geografia Luis Fernando Riquetti. Ao todo foram visitados 19 pontos, a fim de conhecer a atual situação da área sob os seguintes aspectos: caracterização física (hidrologia, relevo), formas de uso da terra, problemas ambientais, situação de escoamento do canal fluvial, considerando-se o contexto de inundações urbanas.

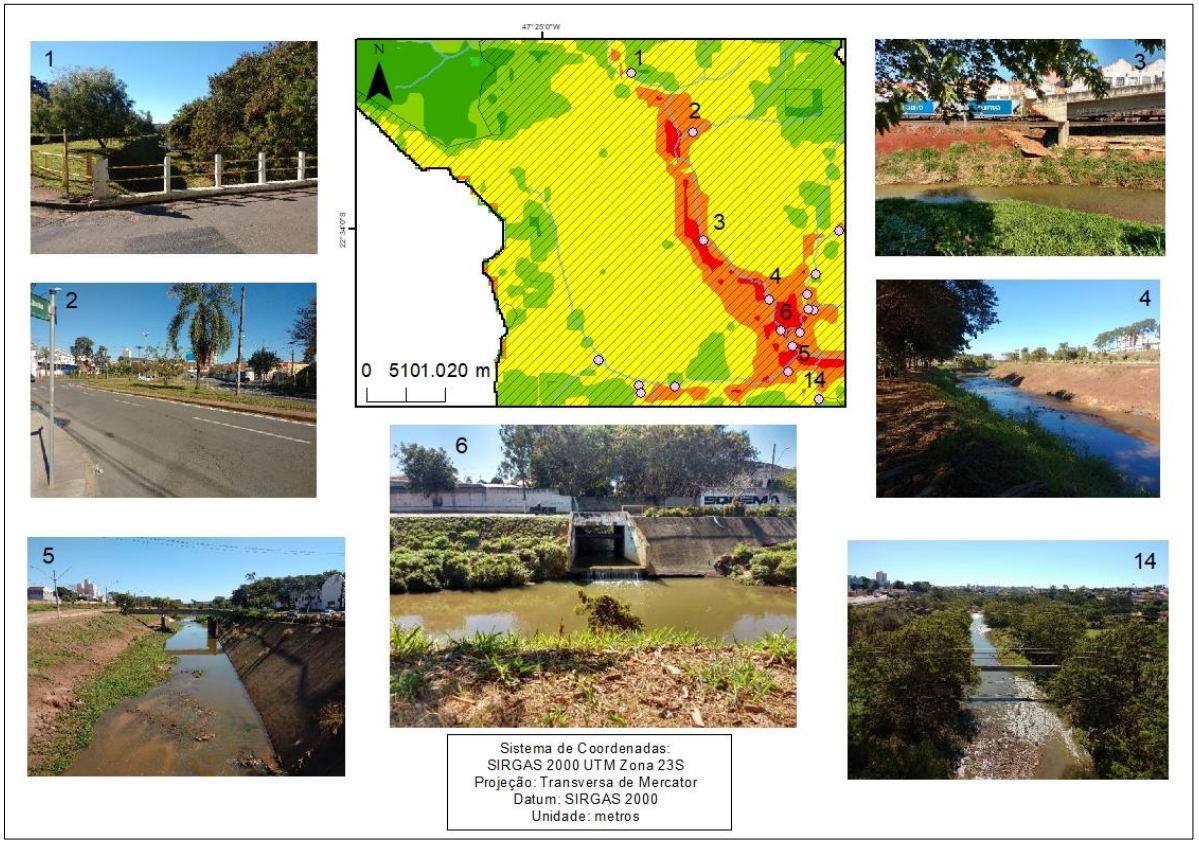
Assim, além da análise das áreas com os maiores níveis de fragilidade às inundações na Bacia do ribeirão Tatu, realizou-se a verificação da veracidade do mapeamento do uso das terras na bacia. O Ribeirão Tatu, o principal rio que atravessa a cidade, evidencia pontos com fragilidade forte e muito forte.

No decorrer do trabalho de campo, foi possível analisar as áreas frágeis, assim como o estado de conservação das APP e do ribeirão Tatu (figuras 32 ao 34). Desse modo, foram constatadas áreas extremamente degradadas, tendo como cobertura predominante a vegetação do tipo gramínea. Em relação às áreas próximas ao ribeirão, toda a margem esquerda é marcada por uma importante via de acesso, a avenida Marginal Tatu, de fluxo intenso; as áreas adjacentes são ocupadas por construções. Nas proximidades da margem direita há uma via férrea e muitas construções no entorno, além de algumas vias de acesso.

a) Ribeirão Tatu

No decorrer do trabalho de campo, foi possível analisar as áreas frágeis, assim como o estado de conservação das APP e do ribeirão Tatu. Desse modo, foram constatadas áreas extremamente degradadas, tendo como cobertura predominante a vegetação do tipo gramínea. Em relação às áreas próximas ao ribeirão, toda a margem esquerda é marcada por uma importante via de acesso, a avenida Marginal Tatu, de fluxo intenso; as áreas adjacentes são ocupadas por construções. Nas proximidades da margem direita há uma via férrea e muitas construções no entorno, além de algumas vias de acesso (figura 32)

Figura 32 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados - ribeirão Tatu



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Nos cursos d´água do ribeirão Tatu foram detectados muitos sedimentos e em alguns pontos observou-se que foram realizadas obras recentes de desassoreamento. Ainda, foi possível notar diversos pontos de erosão ao longo do ribeirão, sendo que alguns se localizam próximos as vias, podendo gerar algum tipo de incidente.

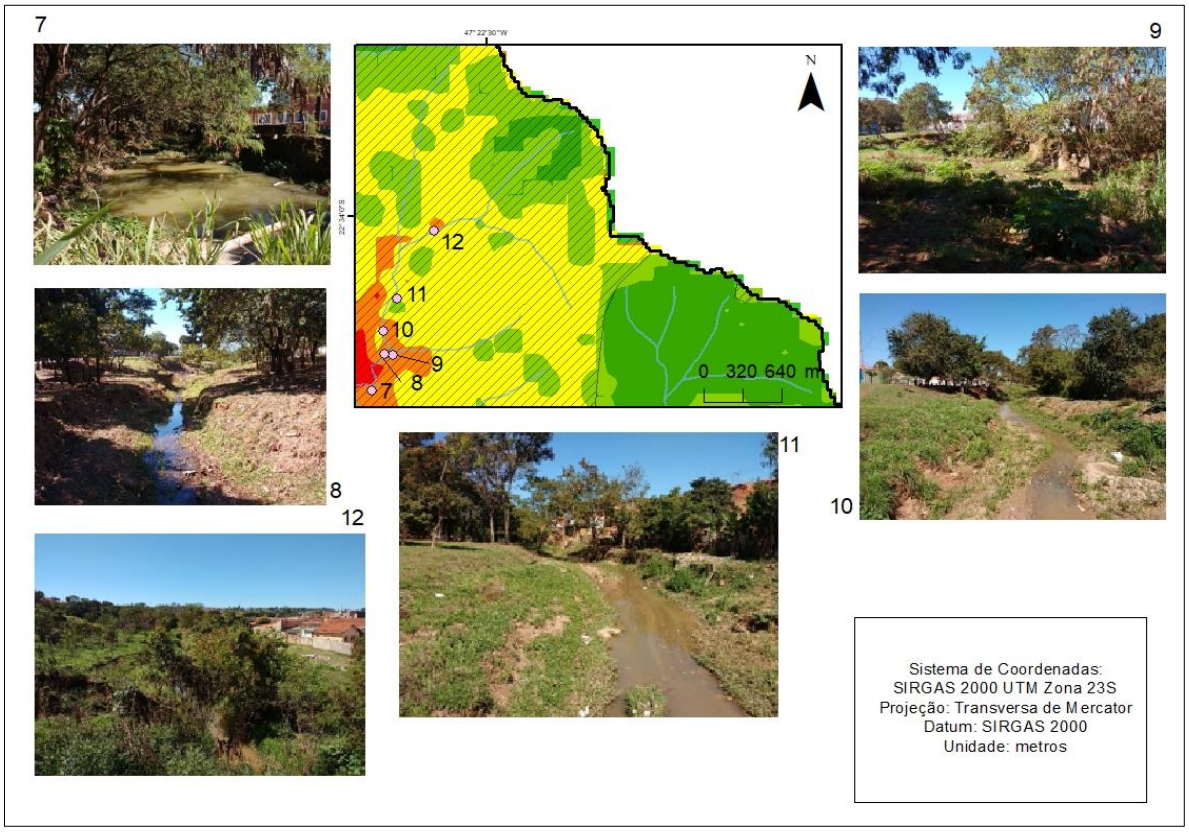
Uma situação extrema denunciada pelo jornal local em 2015 se refere ao afundamento da alça do viaduto Antônio Felix, localizada no bairro vila Camargo, devido à infiltração da água do ribeirão. A área foi interditada e após avaliações da Secretária de Obras e Serviços Públicos de Limeira, os estudos mostraram que a alça deveria ser demolida. Atualmente a área continua interditada e sem previsão para novas obras no local.

b) Córrego do Vargas

Caminhado pelo canal foi detectado que o entorno é uma região cuja população apresenta baixo nível socioeconômico e algumas casas se localizam próximas ao ribeirão (figuras 38 ao 33). Num dos pontos atingidos pelo processo de erosão, notam-se algumas árvores, as quais podem ter amenizado esse processo, evitando-se que a construção fosse atingida (figura 30). No ponto 11 (figura 31) foi detectada uma residência próxima a uma área que também apresenta processos erosivos, podendo no futuro próximo causar algum acidente em caso de evento extremo (figura

33).

Figura 33 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados – córrego Vargas



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Nesse caminho, foi possível analisar que se trata de uma área altamente urbanizada, sendo na maioria ocupada por residências e algumas pequenas empresas. As margens são caracterizadas pelo predomínio de gramíneas e pouca vegetação arbórea/arbustiva. Nos pontos 9, 10 e 11 (figura 33) foram detectados processos erosivos e em alguns casos, próximos às construções. Ainda, foi identificado próximo ao ribeirão um deposito de material reciclável, podendo-se inferir que se houver um evento de chuva intenso, esse material pode ser atingido e levado para o fundo do vale, acarretando em problemas aos moradores.

Considerando as APP, as áreas mais críticas são caracterizadas por gramíneas e por muitos pontos de erosão, assim como algumas construções próximas. Com base na lei nº 12.651/12, notou-se que as APP não estão sendo respeitadas, pois as áreas visitadas evidenciaram ausência quase total da vegetação ciliar, além de haver construções e acúmulo de lixo próximos à várzea.

Num dos momentos da atividade de campo um morador destacou que essa área é problemática na questão de deposito de materiais. Ele comentou que recentemente foram depositados galhos de árvores cortados nas margens do ribeirão e que sempre notifica a prefeitura para realizar a limpeza. Além disso, apontou também pontos das erosões, evidenciando sua

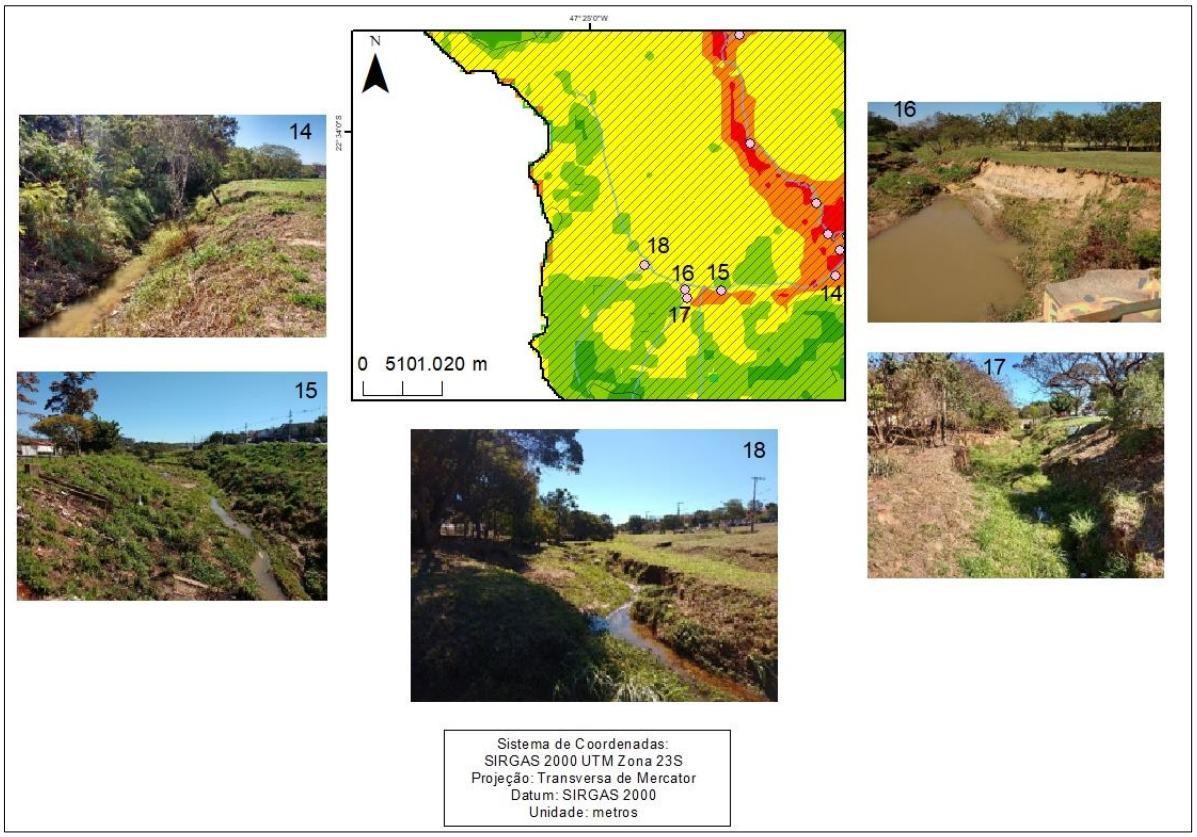
preocupação quanto às consequências desses problemas.

c) Córrego Barroca Funda

Partindo da avenida campinas em direção ao Tatu e o córrego Barroca Funda iniciou-se o percurso, seguindo em direção aos outros afluentes e nascentes. O canal é caracterizado pela presença de gramíneas nas margens, vias de transporte, além de ser uma área extremamente urbanizada.

Ao longo do canal pode ser observado que está área tem muitas vias de acesso aos bairros; esses acessos foram feitos através de pontes e tornaram obstáculos para a passagem da água. Esses pontos são locais de recorrências dos registros de inundações, as quais paralisam o trânsito e podem trazer prejuízos a região (figura 34).

Figura 34 - Trabalho de Campo - Pontos Visitados – córrego Barroca Funda



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

6.2.2 Área de Preservação Permanente no médio curso do Ribeirão Tatu

A visita realizada no dia 9 de novembro de 2018, nas imediações do médio curso do Ribeirão Tatu no município de Limeira possibilitou verificar os usos nas áreas de preservação permanente a qual se encontra em uma área urbanizada. Os fatores de degradação encontrados são principalmente de origem antrópica, como poluição e construções. Em alguns locais encontram-se pastagem, descaracterizando totalmente a vegetação local, conforme verifica-se na figura 35, e também na tabela 7 a qual foi realizado o cálculo da área de cada uso. Também na figura 36 encontram-se evidências do trabalho campo realizado.

As Áreas de Preservação Permanente foram instituídas pelo Código Florestal - Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa.

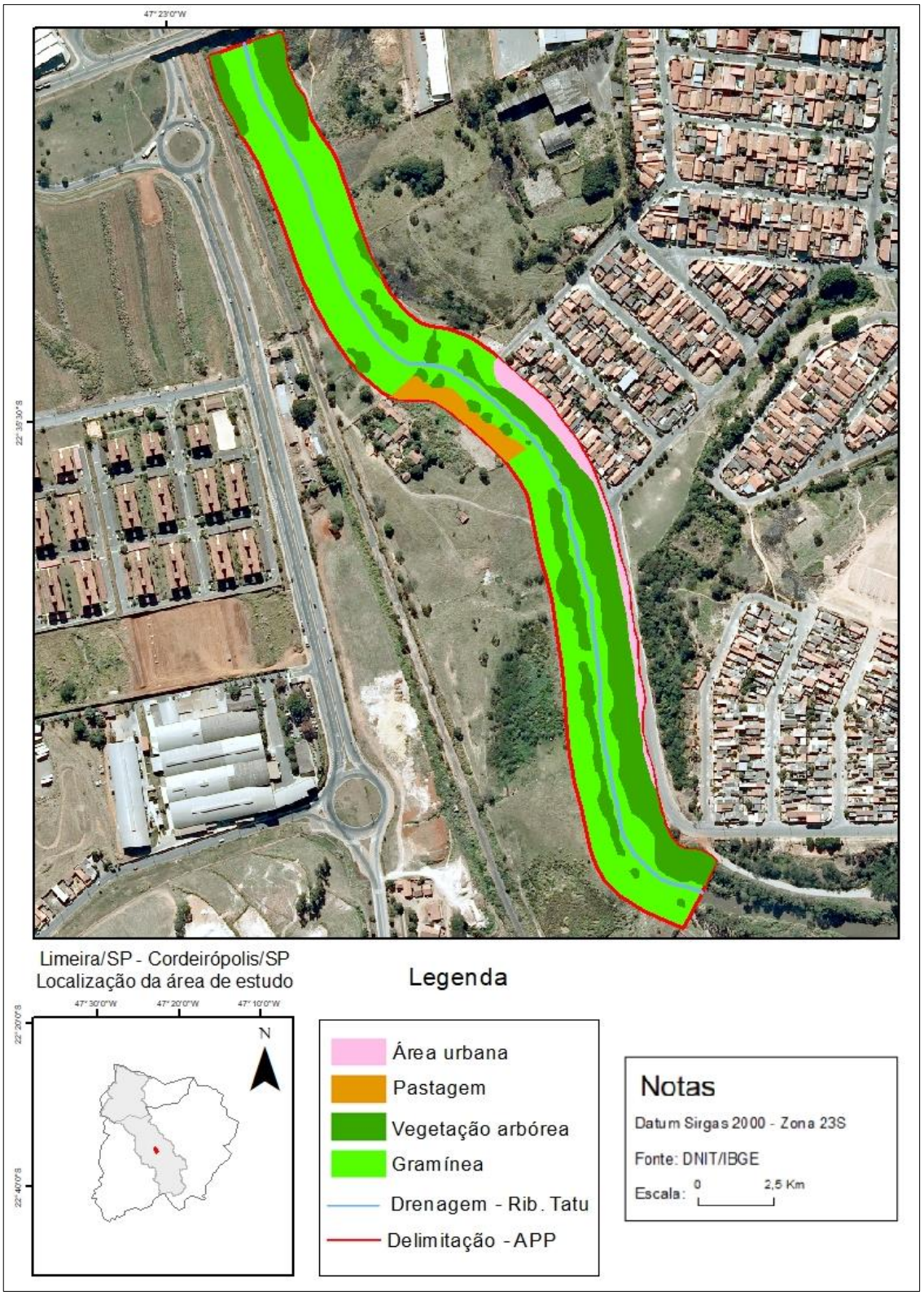
A APP apresenta irregularidades, abrangendo as classes de usos gramíneas e áreas urbanas construídas.

Tabela 7 - Uso e Ocupação na APP do ribeirão Tatu no médio curso

Conflitos de Usos nas APPs	
Classes	Área (Km^2)
Agricultura	3,16
Gramínea	3,91
Pastagem	1,35
Pecuária	0,01
Solo exposto	0,45
Urbano-industrial	0,42
Urbano-loteamento	0,09
Urbano-residencial	1,26
Vegetação arbórea	9,84
Total	20,48

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 35 - mapa de Usos na APP no médio curso do ribeirão Tatu



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 36 - Imagens de Campo dos Usos na APP do ribeirão Tatu no médio curso

a) Resíduos da construção civil/solo exposto

b) Construções/cercamentos/solo exposto

c) Estacionamento

d) Criação de animais

e) Pastagem

f) Erosão

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A área apresenta intensa intervenção antrópica em diversos trechos, existem fragmentos de completa exposição do solo com raras presenças de espécies nativas, o trecho requer um programa de recuperação da área degradada e acompanhamento para sua recuperação efetiva, fazendo-se necessário a retirada dos fatores de degradação e então o plantio total de mudas como procedimento de reflorestamento a ser adotado (TAVARES et al., 2008).

É importante salientar que deve ser realizado juntamente com o processo de recuperação da área, a divulgação para a população local sobre importância da área de preservação permanente.

No dia 11 de fevereiro de 2019 realizou-se uma visita a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Cordeirópolis, a fim de obter informações referentes a gestão das áreas de preservação permanente, pertencentes a este município. O biólogo e assessor do Secretário de Meio Ambiente, Fábio Luiz Cassiano, apresentou o Projeto Executivo do Plano Diretor de Recomposição Florestal o qual é um dos colaboradores, o plano foi elaborado em 2017, e tem vigência de 4 anos.

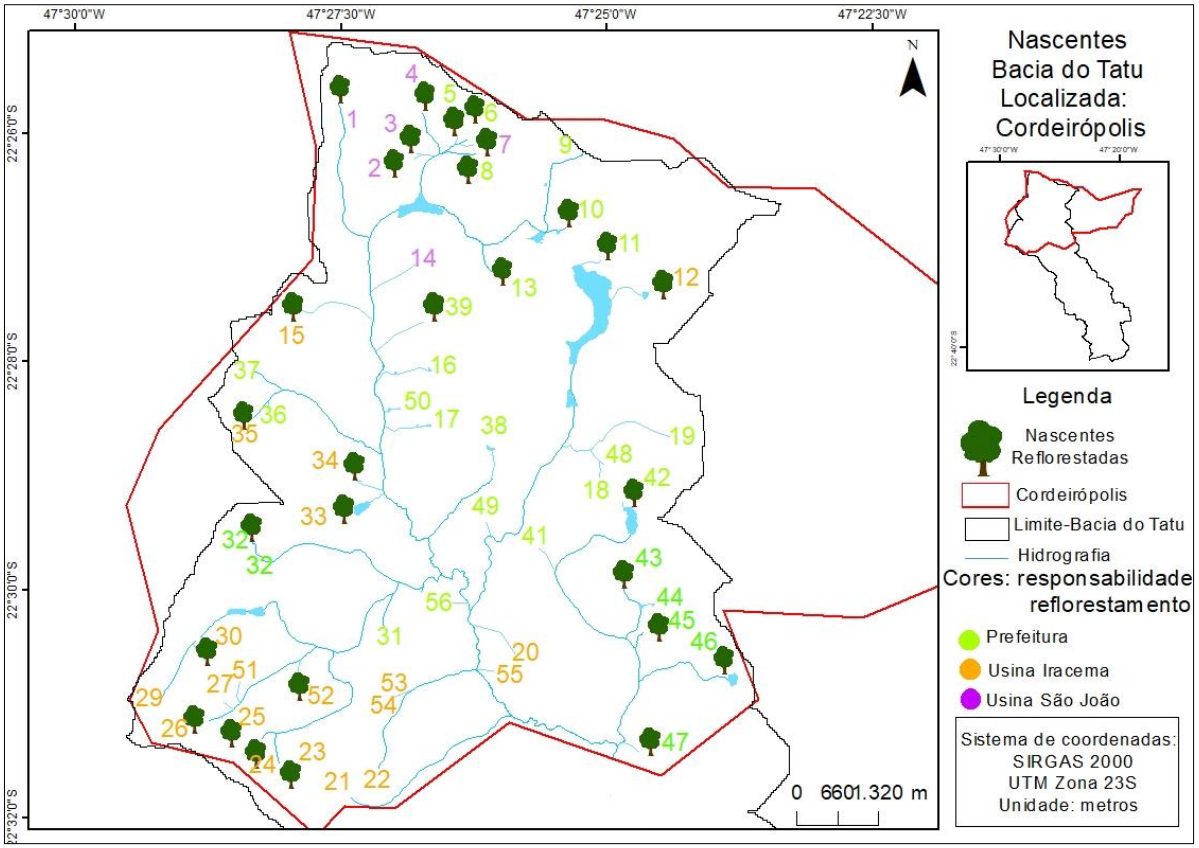
O plano visa a recomposição florestal das nascentes do ribeirão Tatu que se localizam no município de Cordeirópolis, identificou-se 56 nascentes em condições de degradação, caracterizando como uma área produtora de águas devido à grande quantidade de nascentes, e suas condições impactam diretamente sobre o regime hídrico da bacia, o qual é evidentemente notado no Córrego do Cascalho (afluente do ribeirão Tatu), este atendia plenamente as necessidades hídricas do município. Com os índices pluviométricos baixos, o manancial não foi capaz de abastecer o município, obrigando o poder público municipal a buscar soluções emergenciais, tais como a busca de água em antigas cavas de mineração e nos barramentos existentes no Ribeirão Tatu, em especial na Represa Barro Preto (FLORESTAL, 2017).

O reflorestamento segue a Resolução SMA 32/2014-Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Dentre as 56 nascentes mapeadas, são de responsabilidade da Usina São João a 1, 2, 3, 4, 7 e 14; já as nascentes de numeração 20 à 26, 52 à 55 são de responsabilidade da Usina Ibicaba. As demais nascentes são de responsabilidade da prefeitura de Cordeirópolis, porém existem indústrias comprometidas com o meio ambiente que se voluntariam para contribuir com preservação do meio ambiente e adotam áreas para fazer a recomposição florestal, é o caso da indústria Maxion Wheels que se responsabiliza pela nascente número 11. Segue na figura 37 situação atual da recomposição florestal.

A programação da prefeitura para 2019 é concluir o reflorestamento nas nascentes 19, 28,

29, 37, 44 e 48.

Figura 37 - Nascentes da bacia do ribeirão Tatu no Município de Cordeirópolis



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização e a integração dos aspectos físico-naturais e antrópicos da bacia do ribeirão Tatu, permitiu verificar as fragilidades à Inundação, Erosão e Poluição Hídrica e também pode-se deterimar ações de melhoria para mitigar os impactos ambientais.

Referente a fragilidade à erosão, ações de revegetação das nascentes já em operação pelo município de Cordeirópolis irão preservar o solo e água, visto que essa é uma bacia predominantemente plana, favorecendo a atividade agrícola, deve-se realizar medidas para o plantio que mitiguem a erosão, pois cultivos em solos classificados como latossolo, que é altamente suscetível à erosão. Também, deve-se considerar a grande quantidade de drenagens presentes na bacia, as quais encontram-se em sua maioria sem mata ciliar, deve-se portanto cumprir o Código Florestal Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, o qual preve em seu artigo 4º a largura mínima para cursos d'água de menos de 10 metros de largura, e também determina a largura de 50 metros para as nascentes.

Além do desenvolvimento agrário a bacia também é marcada pelo desenvolvimento urbano, a qual compreende dois municípios: Cordeirópolis e Limeira/SP, áreas urbanas são caracterizadas pelo alto nível de impermeabilização dos solos, principal fator para a fragilidade à inundação, ocasionando eventos como inundações, que se tornaram comuns e recorrentes. Nas pesquisas realizadas através de notícias de jornais e mídias, juntamente com os dados dos mapas temáticos, foi possível identificar que as áreas críticas quanto às inundações urbanas em Limeira/SP são pontuais e deve-se realizar estudos hidráulicos-hidrológicos, a fim de que se tenha conhecimento da dinâmica hídrica específica e juntamente com obras de engenharia possar mitigar os eventos de inundação e proporcionar maior segurança à população. Em Cordeirópolis/SP as medidas adotadas referente a galeria de água pluvial e bacia de contenção foi eficaz e atualmente não há ocorrências de inundações no município.

Juntamente com o desenvolvimento urbano e agrário pode-se verifacr que a fragilidade à poluição hídrica é potencializada por estas duas áreas, a primeira pela ausência de APP nas áreas rurais, portanto o cumprimento do Código Florestal Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, é fundamental para exista um equilíbrio ecológico, já a segunda devido a liberação de efluentes domésticos e industriais causam a degradação do ribeirão Tatu, porém com a instalação da ETE no município de Cordeirópolis, será possível ter uma grande melhoria da qualidade de água. A gestão no município de Limeira para mitigar essa fragilidade deve-se pautar na fiscalização, para que a destinação dos efluentes de industrias galvânicas seja tratado antes da liberação nos cursos d'água.

Através do trabalho de campo permitiu analisar a situação das áreas com maior fragilidade à inundação. Foi constatado que muitas áreas já estão consolidadas no meio urbano, dificultando a recuperação da vegetação própria da APP, além de locais onde a vegetação foi substituída por gramíneas, espaços para criação de animais, contrução de áreas impermeabilizadas e ausência de limpeza e manutenção. É imprescindível que seja realizado uma divulgação nas escolas locais para que os moradores entendam a importância da APP e posso contribuir para preservá-la.

Desse modo, através deste estudo, foi possível identificar que a bacia do ribeirão Tatu tem um alto potencial para melhorias embora a atividade antrópica seja preponderante na ocorrência dos impactos ambientais identificados. As ações propostas para mitigar tais impactos são essencias para a melhoria da qualidade ambiental da bacia do ribeirão Tatu que é o principal curso d'água dos municípios de Limeira/ SP e Cordeirópolis/SP. Para estudos desta natureza as geotecnologias se apresentam como ferramentas eficazes de mapeamento e integração de dados, os quais podem servir de base para o adequado planejamento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, Aziz Nacib. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia 18**, São Paulo, 1969.

ALAMEIDA, F.F.M.1964. **Os fundamentos geológicos do relevo paulista**. Pg 169-253

ANA, 2012. **Qualidade das águas**. Disponível em: https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua. Acesso em: 02 out 2019.

AZEVEDO, R. J. Z. **Geoprocessamento na análise da ocupação e uso da terra em área de expansão urbana: estudo de caso da sub-bacia do Ribeirão dos Pires, Município de Limeira (SP)**. 2008. Universidade Estadual de Campinas. 2008.

AZEVEDO, 1998. **Geoprocessamento na análise da ocupação e uso da terra em áreas de expansão urbana**: estudo de caso da sub-bacia do ribeirão dos Pires, município de Limeira (SP). Campinas: Faculdade de Geografia – Unicamp, 2008 (Dissertação de Mestrado).

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S.. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318 p.

BEZERRA, M. C. dos S. **Imigração, educação e religião**: um estudo históricosociológico do bairro dos Pires de Limeira, uma comunidade rural de maioria teuto-brasileira. Campinas: Faculdade de Educação – Unicamp, 2001. (Dissertação de Mestrado)

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S.. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318 p.

BRAGA, C. J. **Mapeamento Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Reservatório Da Uhe Caçu – Goiás.** 2017. n. 12, 1998. p. 89-122

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONANA). 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. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

BOSCO, A.A.; CAMUSSI, J.M.; SILVA, R.N.; LOPES, T.A.; BARROS, R.M.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; SOBRINHO, G.D.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Efluentes derivados dos processos de galvanoplastia**. Disponível em: <http://www.ceset.unicamp.br/Ite/Artigos/3fec2409.pdf>. Acesso em: 02 de outubro de 2019.

CABRAL JR., M. (1991)- **Avaliação do potencial metalogenético da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo para depósitos sedimentares fosfáticos, evaporíticos e de metais-base**. Rio Claro, SP. 238p. (Dissertação de Mestrado-

Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP).

CALIJURI, M. do C. **Engenharia Ambiental**: Conceitos, Tecnologias e Gestão. 2007.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 2-6.

CAMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C. (org). Técnicas de Inferência Geográfica. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A M. V. Introdução a Ciência da Geoinformação. São Jose dos Campos: INPE, 2001. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em 02 nov. 2018.

CARDOSO, P. G. **Geotecnologias para análise da expansão urbana e consequencias na APP do Córrego Olinda/SP**. 2011. Universidade Estadual Paulista, 2011.

CARVALHO, G. A. **Análise espacial urbano – sócio – ambiental como subisídio ao planejamento territorial do município de Sabará**.2010. Universidade federal de Minas Gerais.2010.

CETESB, **Controle de qualidade da água para consumo humano.** São Paulo, 198p. 1977

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo** – 2007. Cetesb. São Paulo: Cetesb, 2008.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo** – 2008. Cetesb. São Paulo: Cetesb, 2019.

CLARA, A.; MOURA, M. **Reflexões metodológicas como subisídio para estudos ambientais baseado em análise multicritério**, artigo anterior 9 3 4. p. 2899–2906, 2007.

COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. J. **Land-use suitability analysis in the United States**: historical development and promising technological achievements. Environment Management. v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2009. Disponível: <www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf > Acesso em 10 de março de 2018.

CORDERO VIRTUAL, **Galeria de Águas Pluviais é inaugurada no bairro Santa Luzia em Cordeirópolis, 2018.** Disponível em: <http://noticiadelimeira.com.br/2018/06/25/galeria-de-aguas-pluviais-e-inaugurada-no-bairro-santa-luzia-em-cordeiropolis/ > <https://cordeiropolis.corderovirtual.com.br/noticias/11524/local/construcao-de-galeria-de-aguas-pluviais-em-cordeiropolis> <https://www.je10.com.br/jardim-eldorado-recebe-pacote-de-projetos/>Acesso em: 8 de jan. 2019.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual Version 14.00

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2006. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000gdhgdwhv02wx5ok0rofsmqv90tsmc.html> Acesso em 22 de setembro de 2018.

FT, UNICAMP. **Dados Meteorológicos**. Disponível em: <https://www.ft.unicamp.br/pt-br/dadosmeteorologicos>. Acesso em: 10 out. 2019.

FULFARO, V.J.; GAMA JR, E.; SOARES, P.C. (1980)- **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo**: PAULIPETRO, Consórcio IPT/CESP (Relatório 008/80).

FULFARO, V.J.; STEVAUX, J.C.; SOUZA Fo, E.E.; BARCELOS, J.H. (1984)- **A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG, v.2, p. 711724.

GAMA JR, E.G.; BANDEIRA JR, A.N.; FRANÇA, A.B. (1982)- **Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central das Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, 12 (4): 578-589.

GAZETA DE LIMEIRA, 2018

GUIMARÃES, E. C.**Variabilidade espacial de atributos de um latossolo vermelho escuro textura argilosa da regiãoo do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. Faculdade de Engenharia Agrícola: Unicamp-2000 (Dissertação de Mestrado).

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. **XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre, ABRH, 2005.

IAOCHITE, J. C. **Novos tempos e antigas espacialidades - o polo cerâmico e as inércias espaciais no contexto da produção do espaço urbano de Santa Gertrudes – SP**. 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA**. Disponível em: .

Acesso em: 08 de dez. 2018.

INSTITUTO FLORESTAL / SMA. Plano de Manejo da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade. Vol. 1. Rio Claro; IF/SMA, 2005.

JHA, A.N. **Genotoxicological studies in aquatic organisms**: an overview. **Mutation Research**, v. 552, p.1-17, 2004.

KAUFFMAN, M. O. **Taxa de impermeabilização do solo: um recurso para implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano à gestão dos recursos hídricos**.2005. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.2005.

LEVIGHIN, S. C.; CAMARGO, J. C.G. **Problemas Ambientais e Impactos Sociais Provocados pela Atividade Ceramista nos Município de Santa Gertrudes e Cordeirópolis (SP)**. In: GERARDI, L. H. de O.; CARVALHO, P. F. de. **Geografia: ações e reflexões**. Rio Claro: AGETEO, 2006. cap. 3, p. 363-382.

LIMEIRA, **Plano diretor**, 2006. Disponível em < http://www.limeira.sp.gov.br/secretarias/planejamento/plano/MEMORIAL%20PROC%20PARTIC %20REVISAO%20PLANO%20DIRETOR%2006%2007/MEMORIAL%20PROC%20PARTIC%2 0Plano%20Diretor%2006%2007.pdf> Acesso em: 23 de mar de 2018.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**.Porto Alegre, Buokman, 2013.

MALCZEWSKI, J. **GIS - based land-use suitability analysis**: a critical overview. Progress in Planning. v. 62, n. 1, p. 3-65, Jul. 2004.

MANZANO, B. C. **Avaliação dos potenciais citotóxico, genotóxico e mutagênico das águas do Ribeirão Tatu, região de Limeira/SP, após o recebimento de efluentes urbanos**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

MANUAL EMBRAPA, **Manual Técnico de Pedologia**. p. 48. 2ª ed. 2007.

MARRARA, A.C.T. **Avaliação físico química e ecotoxicológica do Ribeirão Tatu no Município de Limeira/SP**.2008.Universidade Estadual de Campinas.2008.

MINEO, M. M. P. **O espaço urbano e suas temporalidades: diagnóstico e propostas de intervenção para o patrimônio histórico do centro de Limeira – SP**.2009. Universidade Estadual Paulista, 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, IPT, 2007. Disponível em: http://www.capacidades.gov.br/biblioteca

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Pg 10 3ª Ed.Interciência : Ed. da autora, 2010.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Florianópolis: INPE, 2007, p. 2899-2906.

MORAES, C. M; CONCEIÇÃO, T; CUNHA, C. M. L; MORUZZI, R. B. **Comparação de Metodologias na Definição de Fluxos Acumulados a Partir de Modelos Digitais de Elevação do Terreno Aplicado a Suscetibilidade de Inundações2014.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.2 –Abr/Jun 2014, 223-235, 2014.

OLIVEIRA, J.B; de CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Legenda Expandida. Campinas. Instituto Agronômico/EMBRAPA Solos. Campinas. 64p. Inclui Mapas, 1999.

OLIVEIRA PCA, RODRIGUES GSSC, RODRIGUES SC. **Fragilidade ambiental e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil**. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 54-67, 2008.

O NOVO mapa de relevo paulista. **Revista Pesquisa Fapesp**, São Paulo, v. 35, p. 14-15, set. 1998.

PEREIRA, LUIZ H. ; PINTO, SERGIO dos A. J. **Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio CorumbataíSP**. 2004. Instituto Federal Sul Rio Grandense. 2004.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, J. E. **Anotações de aula de Geologia de Campo I**. 2008

Redondano D.C. & Almeida R.D. **Atlas municipal escolar, geográfico, histórico, ambiental** – Limeira, FAPESP, Universidade Estadual Paulista. 99p.

REGATTIERI, M. C. B. **Geoquímica de águas e sedimentos da bacia do Ribeirão Tatu, Limeira/SP**.2007.Universidade Estadual de Campinas.2007.

RIBEIRO, F.L.; CAMPOS, S.; PIROLI, E.L; SANTOS, T.G.; CARDOSO, L.G. **Uso da terra do**
Alto rio pardo, obtido a partir da análise visual IN: **Anais**. I Ciclo de Atualização Florestal do Conesul Santa Maria: UFSM, 1999. v. único, pág. 75 – 81, 1999.

ROCHA, P. G. O. **Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: estudo de caso, consórcio Brejo Madre de Deus e Juatuba- PE.**

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

ROSS, J. L. S. e DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. In: **Revista do Departamento de Geografia/Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP** - n. 12, 1998. p. 89-122.

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

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding.** Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996.

SAAD, A.R. (1977)- **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. São Paulo**. p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

SALVADOR, R. B., SIMONE, L. R. L. 2010. **Histórico dos Estudos sobre a Malacofauna Fóssil da Formação Corumbataí, Bacia do Paraná, Brasil**. Revista da Biologia, vol. 05, Instituto de Biociências, USP – São Paulo, SP, Brasil.

SCHNEIDER, R.L., MUHLMANN, H., TOMASSI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. 1974. **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Porto Alegre. Anais… Porto Alegre, SBG, v.1, p. 41-66.

SEMA LIMEIRA. **Secretaria do Meio ambiente de Limeira**. Disponível em:< http://www.cordeiropolis.sp.gov.br/meioambiente/> Acesso em: 06 out 2019.

TAGLANI, C. R. A. **Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DESENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, MG. **Anais em CD-ROM** ... Belo Horizonte: INPE - SELPER, p. 1657-1664.

TAUFIC, R. de O. **Expansão Urbana e Relação Campo-Cidade: um estudo a partir do município de Limeira-SP (2003-2013)**. 2014. Universidade Estadual Paulista, 2014.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena et al. **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2008.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Ed. do autor, 1992.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**/ Carlos E. M.Tucci – Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco 2005. 270p

TUCCI, C. E. M. e GENZ, F., 1995 **Controle da urbanização** in: Drenagem Urbana Editora da Universidade ABRH.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritério em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", da Universidade de São Paulo.2006

VIEIRA, R. T. de L. **Uso do geoprocessamento na avaliação socioambiental do uso e ocupação do solo no entorno da cidade administrativa Presidente Tancredo Neves Belo Horizonte/MG.**2012.Universidade Fundadora Mineira de Educação e Cultura.2012.

VIERA, P. H. e VIEIRA, A. C. A de S. **Diagnóstico dos impactos ambientais provocado pelas indústrias cerâmicas no município de Cordeirópolis/SP**. 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. p 27-39; 133-171. 2014

ZAINE, J. E. 1994. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**; Dissertação de Mestrado; Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP).