

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Zoneamento de Áreas Vulneráveis a Inundação e Alagamento em Rio Claro – SP
pelo Método AHP

Carlo Junqueira Margotto Soares

Prof. Dr. José Eduardo Zaine (orientador)

Prof. Dr. Flávio Henrique Rodrigues (coorientador)

Rio Claro (SP)

2018

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

CARLO JUNQUEIRA MARGOTTO SOARES

ZONEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A INUNDAÇÃO E
ALAGAMENTO EM RIO CLARO – SP, PELO MÉTODO AHP

Trabalho de Formatura 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 Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2018

333.709 Soares, Carlo Junqueira Margotto
S676z Zoneamento de áreas vulneráveis a inundação e alagamento em Rio
Claro - SP, pelo método AHP / Carlo Junqueira Margotto Soares. - Rio
Claro, 2018
59 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura e bacharelado -
Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Eduardo Zaine
Coorientador: Flávio Henrique Rodrigues

1. Geografia ambiental. 2. Geoprocessamento. 3. Inundação. 4.
Alagamento. 5. AHP. 6. Drenagem urbana. I. Título.

CARLO JUNQUEIRA MARGOTTO SOARES

ZONEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A INUNDAÇÃO E
ALAGAMENTO EM RIO CLARO – SP, PELO MÉTODO AHP

Trabalho de Formatura 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 Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Eduardo Zaine (orientador)

Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro

Prof. Dr. Alexandre Martins Fernandes

Rio Claro, 18 de junho de 2018.

Assinatura do aluno

Assinatura do orientador

RESUMO

Todos os anos o município de Rio Claro - SP sofre com problemas causados por inundações e alagamentos no período de chuvas intensas, provocando diversos acidentes, inúmeros danos materiais e vítimas. O acelerado crescimento urbano sem planejamento adequado foi responsável por intensificar os processos de impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração de água e consequentemente aumentando a quantidade e a velocidade do escoamento superficial. Em eventos de fortes chuvas os sistemas de drenagem urbana têm sua capacidade excedida, causando o transbordamento de galerias pluviais, interditando vias e invadindo residências e comércios. Tendo este problema em vista, o presente trabalho classificou a área de estudos em relação ao grau de vulnerabilidade a inundação e alagamento em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, utilizando o Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP através de ferramentas de geoprocessamento. Foram elaborados mapas temáticos contendo informações sobre altimetria, declividade, uso e ocupação do solo, geotecnia e pontos de ocorrências registrados pela Defesa Civil. Em relação ao processo de inundação, foram identificadas áreas críticas principalmente ao longo do Córrego da Servidão, enquanto que as principais áreas críticas afetadas por alagamentos foram identificadas na região noroeste da área de estudos, próximas ao Lago Azul.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Inundação. Alagamento. AHP. Drenagem Urbana.

ABSTRACT

Every year the municipality of Rio Claro - São Paulo suffers from problems caused by floods and inundations in the period of heavy rains, causing many accidents, several material damages and victims. The accelerated urban growth without adequate planning was responsible for intensifying the processes of soil sealing, reducing the infiltration of water and consequently increasing the quantity and the velocity of the surface runoff. During heavy rains, the urban drainage systems are overflowed, interdicting roads and invading residences and shops. Considering this problem, the present study classified the study area in relation to the degree of vulnerability to flooding and inundation in five classes: very low, low, medium, high and very high, using the Analytic Hierarchy Process Method - AHP through of geoprocessing tools. Thematic maps containing information of altimetry, slope, land use, geotechnics and Civil Defense information were elaborated. In relation to the inundation process, critical areas were identified mainly along Córrego da Servidão, while the main critical areas affected by floods were identified in the northwest region of the study area, near Lago Azul.

Keywords: Geoprocessing. Inundation. Floods. AHP. Urban Drainage.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pontos de registro de Inundação e Alagamento da Defesa Civil - Rio Claro (SP).....	5
Figura 2. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.	11
Figura 3. Perfil esquemático de uma bacia de contenção.	15
Figura 4. Pavimento permeável de betão alveolar.	16
Figura 5. Telhado verde construído no edifício Matarazzo, atual sede da Prefeitura de São Paulo e antigo prédio do Banespa.....	16
Figura 6. Localização da área de estudos - Rio Claro (SP).....	19
Figura 7. Climograma do Município de Rio Claro, SP	21
Figura 8. Mapa de hidrografia de Rio Claro (SP)	22
Figura 9. Recorte do Mapa Geológico-Geotécnico de Rio Claro (SP)	24
Figura 10. Fluxograma da metodologia adotada no trabalho	38
Figura 11. Mapa de altimetria de Rio Claro (SP).....	40
Figura 12. Mapa de declividade de Rio Claro (SP)	41
Figura 13. Mapa de uso e ocupação do solo de Rio Claro (SP)	42
Figura 14. Mapa de geotecnia de Rio Claro (SP).....	43
Figura 15. Recorte do zoneamento de áreas vulneráveis a inundação.....	45
Figura 16. Foto de cratera aberta no asfalto durante forte chuva na Avenida Visconde de Rio Claro (SP)	45
Figura 17. Alto nível de água do rio Corumbataí, acesso ao Jardim Novo Wenzel...46	
Figura 18. Recorte do zoneamento de áreas vulneráveis a alagamento	47
Figura 19. Ponto de alagamento localizado na Rua 1-A, entre as Avenidas 32 e 36, no Lago Azul.	47
Figura 20. Registro de alagamento na Avenida Presidente Kennedy, na saída para a Rodovia Washington Luís.	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Processos hidrológicos e suas respectivas definições	11
Tabela 2. Descrição das variáveis utilizadas para o mapeamento da vulnerabilidade a inundação e alagamento	29
Tabela 3. Critérios para atribuição das notas de acordo com a vulnerabilidade a inundação e alagamento	30
Tabela 4. Classes e notas atribuídas de acordo com o grau de vulnerabilidade a inundação.....	33
Tabela 5. Classes e notas atribuídas de acordo com o grau de vulnerabilidade a alagamento	34
Tabela 6. Escala de comparadores	34
Tabela 7. Matriz de comparação pareada	35
Tabela 8. Determinação dos pesos estatísticos para cada variável	36
Tabela 9. Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n, segundo o Laboratório Nacional de OAk Ridge, EUA.....	37
Tabela 10. Valores atribuídos para as Classes de Vulnerabilidade	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
3.1 Vulnerabilidade e Risco.....	7
3.2 Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento.....	8
3.3 Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP.....	9
3.4 Desastres Naturais.....	10
3.5 Controle de Inundações e Alagamentos.....	12
3.6 Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável.....	13
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	18
4.1 Localização.....	18
4.2 Aspectos Socioeconômicos.....	20
4.3 Clima.....	20
4.4 Hidrografia.....	21
4.5 Meio Físico.....	23
5. MATERIAIS, MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	27
5.1 Levantamento de Dados.....	27
5.2 Organização da Base Cartográfica.....	27
5.3 Atribuição de Valores.....	30
5.4 Aplicação do Método AHP.....	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
6.1. Análise do Material Cartográfico Digital Gerado.....	39
6.2 Medidas de Mitigação.....	48
7. CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXO I.....	58
ANEXO II.....	59

1. INTRODUÇÃO

Alguns dos fenômenos naturais, como as inundações, podem adquirir um caráter ambivalente, dependendo do ponto de vista e dos interesses com que são observados ou interpretados (CABELLO, 2018).

Quando analisadas como um processo natural, as inundações trazem diversos benefícios ambientais e econômicos. Dentre eles estão a fertilização natural dos solos, o equilíbrio hidrogeomorfológico dos canais (função de “limpeza”), a manutenção de grande diversidade ecológica (matas ciliares, pântanos, lagoas, estuários e outras áreas), além do equilíbrio sedimentar das praias. Por outro lado, quando analisadas como desastre natural, as inundações trazem diversos prejuízos.

O Brasil é um país altamente afetado por desastres naturais nos quais as inundações e alagamentos possuem grande relevância. Dados divulgados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no último Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2013), relatam que 40,9% dos municípios brasileiros sofreram pelo menos um desastre natural entre os anos de 2008 e 2013. De acordo com o documento, as características físicas dos municípios como clima e padrão de distribuição das chuvas são algumas condições que, aliadas aos padrões de ocupação e ao planejamento territorial, interferem nos resultados das respostas (IBGE, 2013). Conforme ainda divulgado, 27,7% dos municípios brasileiros foram atingidos por inundações neste período. Dos 39 municípios do país com mais de 500 mil habitantes, 38 foram atingidos por enchente ou enxurrada. Os estragos causados também foram grandes: 1.406.713 pessoas ficaram desabrigadas (definitivamente sem casa) ou desalojadas (temporariamente sem moradia) por enchentes graduais no mesmo período considerado. Outro dado que chama atenção é que 48,1% dos municípios do país não possuem nenhum instrumento de prevenção a desastres naturais, e apenas 14% dos municípios contam com Corpo de Bombeiros.

Além dos problemas causados no Brasil, as inundações são, com diferença, o desastre natural que gera maiores danos na Europa (CABELLO, 2018). De acordo com dados do Consórcio de Compensação de Seguros da Espanha, entre 1987 e 2015 quase 70% dos valores pagos por sinistros no país estão relacionados com danos causados por inundações (gráfico 1). Estima-se que as inundações provoquem

uma perda econômica média de 800 milhões de euros por ano no país. Além disso, 28,8% das vítimas de desastres naturais no país foram causadas por inundação.

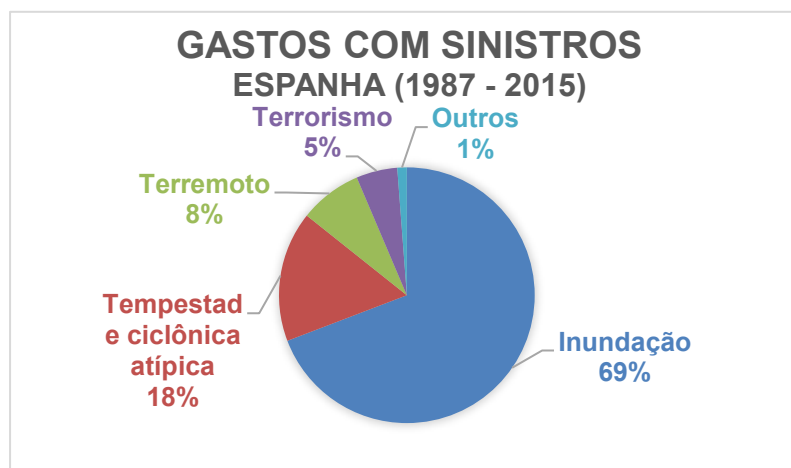


Gráfico 1. Gastos divulgados pelo Consórcio de Compensação de Seguros (Espanha), entre os anos de 1987 e 2015.

Fonte: modificado pelo autor a partir de Cabello (2018).

No Brasil, o processo desordenado de expansão urbana evidenciado principalmente nas últimas décadas, vem ocasionando grandes impactos negativos ao meio ambiente e contribuindo para o aumento da ocorrência destes desastres naturais. O município de Rio Claro - SP evidenciou esta expansão entre as décadas de 1970 e o final da década de 1990, quando apresentou um crescimento populacional de aproximadamente 112% (FILENI, 2004). Este crescimento está associado principalmente ao desenvolvimento industrial e a entrada de capital externo na região. Costa (1996) afirma que:

(...) a relação entre as migrações e o desenvolvimento econômico industrial se faz presente em Rio Claro, pois se verifica a maior proporção de migrantes em regiões que foram formadas a partir do processo de crescimento industrial da cidade, que atraiu grande quantidade de mão-de-obra, constituindo-se na periferização da cidade, e consequente ampliação do espaço urbano, com a formação de bairros operários (COSTA, 1996, p. 100).

Esta ocupação do território ocorreu, em grande parte, sem planejamento adequado, expandindo o espaço urbano e ocupando planícies de inundação de rios e contribuindo para o aumento da impermeabilização do solo. Estes fatores quando associados a eventos pluviométricos extremos resultam em sérios desastres naturais como inundações e alagamentos, frequentemente evidenciados em diversos pontos no município em questão. De acordo com Tucci e Bertoni (2003):

A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos ou galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros (TUCCI, BERTONI, 2003, p. 45).

Apesar de ser natural, o processo de inundação é intensificado em áreas urbanizadas uma vez que o solo impermeabilizado diminui a capacidade de infiltração da água e contribui para o aumento do escoamento superficial, superando a capacidade natural de transporte do sistema. Tucci e Bertoni (2003) afirmam que:

O acelerado escoamento através de condutos e canais provoca o aumento da quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava por ravinamento (TUCCI, BERTONI, 2003, p. 45).

Outros fatores, como o uso indevido do solo, assoreamento, solapamento de margens, desmatamento da cobertura vegetal, regulação hídrica, expansão agrícola, construção de redes viárias e atividades extrativas também contribuem para este cenário, ocasionando cada vez mais danos humanos e materiais.

O processo de alagamento por sua vez, não está necessariamente relacionado com o transbordamento dos rios, podendo ocorrer em áreas distantes e mais elevadas de corpos hídricos. Este processo é definido pelo acúmulo momentâneo de água em locais por deficiência no sistema de drenagem (MIN. CIDADES/IPT, 2007).

Na última década o município de Rio Claro, localizado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, foi assunto de diversas manchetes de jornais a respeito de inundações e alagamentos ocorridas no período de chuvas fortes. Diversos pontos são frequentemente registrados nas regiões da Avenida Visconde de Rio Claro (Centro da cidade), no pontilhão da Avenida 29 (Jardim Conduta), na Avenida Felício Castelano (Jardim América), na região do Córrego Wenzel (bairro Jardim São Paulo), entre muitos outros. Como consequência, carros são destruídos, casas e lojas são inundadas, a pavimentação de diversas vias é danificada e pessoas ficam ilhadas, necessitando serem resgatadas pelo Corpo de Bombeiros. São diversos os danos causados, sendo muitas vezes impossível calcular os prejuízos.

No ano de 2009, por exemplo, foram registradas pela Defesa Civil 286 locais de ocorrência no município derivadas direta ou indiretamente de eventos climáticos, dentre alagamentos, quedas de árvore, quedas de poste, quedas de muro de arrimo, quedas de talude, destelhamentos, desmoronamentos, tampas de posto de visita fora do lugar, buracos na via, refluxos de esgoto, trinca e infiltração em residências. Os

gastos com reparos são extremamente altos: dentre o total de ocorrências registradas em 2009, 60 delas estão relacionadas com a abertura de buracos na pavimentação urbana, imediatamente após chuvas intensas (BASTOS, 2011).

No site oficial da Prefeitura de Rio Claro estão divulgadas algumas das principais obras realizadas com o intuito de resolver o problema, como a canalização do Córrego da Servidão (estimada em mais de 19 milhões de reais), a construção de um túnel sob a linha férrea com quase 5 metros de diâmetro (com custo superior a 5 milhões de reais), e outra série de obras para desviar o fluxo de água do Lago Azul já foram realizadas para tentar amenizar o problema.

Rio Claro já possui um mapeamento das principais áreas de alagamento, apresentado na figura 1. Mais de 40 pontos são monitorados com o apoio do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET), da Unesp (Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho") de Bauru, e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/Inpe), além da estação de meteorologia na sede da Defesa Civil do município. A estrutura de monitoramento é feita com um sistema de contingência que conta com o Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Guarda Municipal e as Secretarias Municipais.

Diante da importância do assunto abordado, trabalhos envolvendo propostas metodológicas de mapeamento de áreas de risco e vulnerabilidade socioambiental vêm ganhando cada vez mais expressão, tanto no âmbito acadêmico quanto governamental.

Dentre os trabalhos desenvolvidos neste tema para o município, destacam-se Bastos (2011), que mapeou as áreas de risco espacializando danos registrados pela Defesa Civil; Bento (2012), que classificou e mapeou áreas de risco de enchentes e inundações no bairro Jardim Inocoop; Moruzzi et al. (2009), que estudou o efeito da ocupação urbana e de obras de drenagem sobre o hidrograma de cheia para a bacia do córrego da Servidão; Moraes (2011), que analisou a dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações no município; Montanha (2017) que analisou os processos de inundação e alagamento na bacia do córrego Mirassol, entre outros.

Este trabalho, por sua vez, tem o intuito de contribuir com este acervo de estudos, servindo de auxílio ao poder público na tomada de decisões para o planejamento urbano e ambiental, além de inspirar e estimular outros pesquisadores

e profissionais da área para que estes estudos sejam difundidos e aplicados em diversas outras regiões do país.

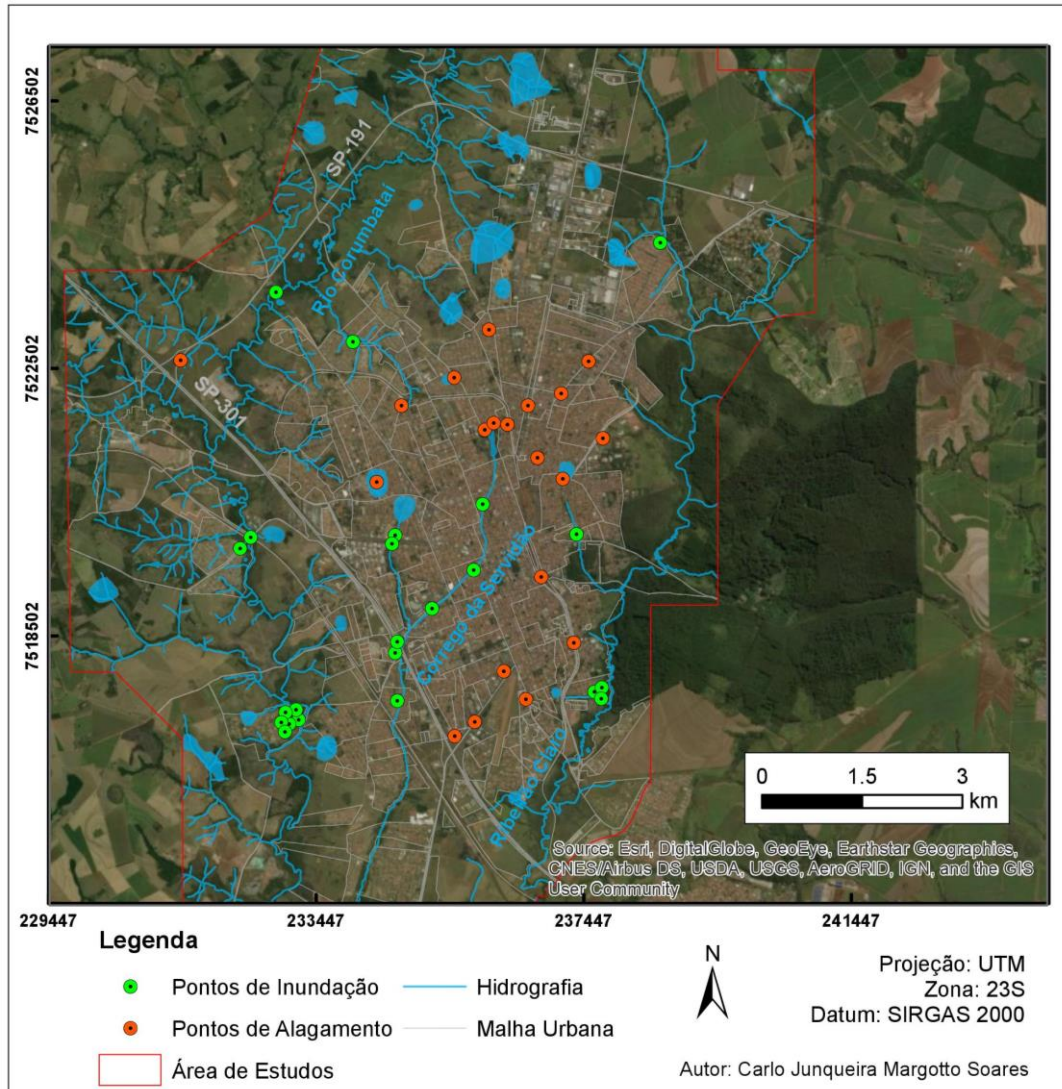


Figura 1. Pontos de registro de Inundação e Alagamento da Defesa Civil - Rio Claro (SP)

Fonte: modificado de Novaes (2014)

2. OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal disciplinar o uso e ocupação do solo no município de Rio Claro – SP, através do zoneamento de áreas vulneráveis a inundação e alagamento, servindo como fonte de consulta a órgãos públicos gestores na tomada de decisões a respeito do planejamento urbano e ambiental.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar e caracterizar os atributos associados aos processos de alagamento e inundação presentes em diferentes partes da área de estudos.
- Estudar a aplicabilidade do método AHP através de ferramentas de geoprocessamento.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Vulnerabilidade e Risco

O conceito de vulnerabilidade tem despertado o interesse em diversas áreas do conhecimento. No que se diz respeito a área ambiental ainda não há um consenso sobre sua definição, que muitas vezes é confundida com o conceito de risco, dificultando o pleno entendimento do uso dos termos nos casos que se aplicam (AQUINO et al., 2017).

O Ministério das Cidades/IPT (2007) define vulnerabilidade como sendo o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. Aquino et al. (2017) definem vulnerabilidade ambiental como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas, podendo ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência (capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica).

Embora possuam conceitos diferentes, vulnerabilidade está diretamente atrelada ao risco. O termo risco é definido pelo Ministério das Cidades/IPT (2007) como sendo a multiplicação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. Para que exista um risco, é necessário que exista a presença humana (ou atividade humana potencialmente danosa) associada a vulnerabilidade das condições físicas, sociais, econômicas e ambientais dos elementos expostos (BENTO, 2012). De acordo com Veyret (2007), risco é um perigo calculável, pois um processo potencialmente perigoso torna-se um risco para a população a partir do momento em que sua ocorrência passa a ser previsível, seja por emitir sinais prévios ou pela repetição, permitindo assim, estabelecer uma frequência.

Para Veyret (2007) os fatores que permitem estimar a vulnerabilidade são numerosos e devem ser classificados segundo sua importância, em uma escala

escolhida com cuidado segundo os lugares analisados e a precisão dos dados disponíveis. Em seguida estes fatores podem ser ponderados a fim de que seja obtido um valor de vulnerabilidade por unidade de superfície definida. Instrumentos como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser adicionados à avaliação, de modo a facilitar a localização de áreas mais vulneráveis.

3.2 Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento

Os Sistemas de Informação Geográfica são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar e imprimir dados referenciados espacialmente em relação a superfície da Terra (MAGUIRE et al., 1991). O geoprocessamento por sua vez, caracteriza-se por procedimentos computacionais de dados georreferenciados, por meio de sistemas computacionais, como por exemplo o SIG.

O geoprocessamento constitui hoje uma ferramenta fundamental para as etapas de levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais. A compreensão da distribuição espacial de elementos sociais e ambientais é um importante desafio para resolver questões relacionadas à ocupação ou não de uma determinada área e estabelecer limites seguros para o bem-estar do ser humano e para a preservação dos recursos naturais envolvidos.

São inúmeras as aplicações dessa ferramenta na análise de vulnerabilidade ambiental, podendo ser utilizada para elaborar prognósticos, gerando mapeamentos que facilitam a avaliação dos impactos, além de produtos digitais básicos como mapas temáticos aplicados para análise de problemáticas ambientais.

Delgado (2011) utilizou o geoprocessamento para analisar a vulnerabilidade ambiental desencadeada pela monocultura de cana-de-açúcar na em uma região do município de Piracicaba (SP), elaborando mapas temáticos de declividade, de uso e ocupação das terras, de Áreas de Preservação Permanente (APP), pedológico e geológico da bacia hidrográfica envolvida. A partir de uma análise multicritério destes mapas, a autora gerou um mapa de vulnerabilidade ambiental para a região. Miguel; Medeiros e Oliveira (2013) utilizaram o geoprocessamento para realizar o diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu (MS), através da interpolação de dados de pluviosidade, geologia, pedologia, declividade e uso e ocupação do solo.

3.3 Método de Processo Analítico Hierárquico - AHP

O Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é definido pelo *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) como uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada um deles e determina um *ranking* total das alternativas.

De acordo com (SILVA, 2007) a ideia central da teoria de análise hierárquica introduzida por Saaty é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas. Este método tem como fundamento a decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores (SAATY, 1991).

As aplicações deste método encontram-se nos mais distintos campos. Dentre elas, destacam-se Grandzol (2005) para seleção de corpo docente, Becker (2004) para definição de prioridades de pesquisa de agricultura internacional, Murakami (2003) para decisão estratégica de TI, entre outros. No campo das Geociências as aplicações do Método AHP também são inúmeras. Rezende (2017) analisou os riscos de inundação no perímetro urbano de Paracatu - MG, Magalhães et al. (2011) mapeou áreas de risco a inundação em Guaçuí - ES, e Dalfi et al. (2013) mapeou áreas de risco a inundação nos bairros do Município de Alegre - ES, todos através do Método AHP.

Conforme a bibliografia levantada, o Método AHP (Saaty, 1977) foi escolhido para se realizar o zoneamento das áreas vulneráveis à inundação e alagamento do Município de Rio Claro. A utilização de *softwares* de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) para a construção de modelos através da operacionalização de metodologias, como por exemplo o Método AHP adotado neste projeto, confere maior agilidade e precisão para os resultados obtidos, facilitando a tomada de decisões e a padronização dos procedimentos, e possibilita uma visão geral do modelo construído.

Segundo Saaty (1994), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o Método AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão. Por outro lado, Dalfi et al. (2013) alerta que

a metodologia pode sofrer influência direta do pesquisador no momento de atribuir os valores aos fatores, dificultando a comparação com outros trabalhos realizados a partir de outros métodos.

3.4 Desastres Naturais

Os desastres naturais são exemplos de processos potencialmente perigosos que envolvem o conceito de vulnerabilidade, podendo representar um risco para a população. De acordo com Tominaga (2009, p. 13), quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais. A autora ainda define desastres naturais como o resultado do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre um sistema social, causando sérios danos ou prejuízos que excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto.

Saito (2008) classifica os desastres naturais em cinco grupos, de acordo com a natureza: biológicos, como por exemplo epidemias, infestações por insetos e ataques de animais; geofísicos, como terremotos, vulcões e movimentos de massa (sem água); climatológicos, como secas, temperaturas extremas e incêndios; hidrológicos, por exemplo inundações e movimentos de água com massa; e meteorológicos, como as tempestades.

Inundações são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração e grau de saturação do solo e das características morfológicas da bacia de drenagem (TOMINAGA, 2009). A figura 2 ilustra a diferença entre uma situação normal do volume de água no canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação.

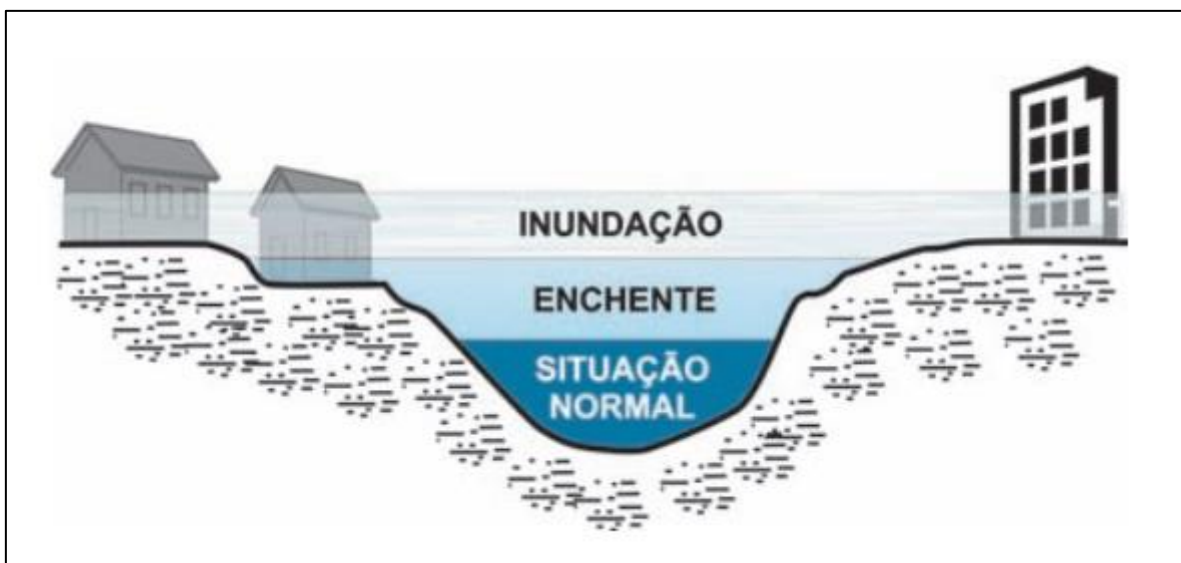


Figura 2. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.

Fonte: Min. Cidades/IPT (2007)

A tabela 1 apresenta os principais processos naturais e suas respectivas definições, segundo o Ministério das Cidades/IPT (2007).

Tabela 1. Processos hidrológicos e suas respectivas definições

Processo	Definição
Inundação	Representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea.
Enchentes	São definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar.
Alagamento	Acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.
Enxurrada	Escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

Fonte: modificado pelo autor a partir de Min. Cidades/IPT (2007)

O foco deste trabalho são os processos de inundação e alagamento por serem mais significantes e causarem maiores danos na área de estudos. Tais processos são resultado da combinação das características físicas, do tipo de ocupação solo e das modificações feitas nos corpos hídricos do município. Devido à baixa declividade do terreno e as características dos rios, enchentes e enxurradas não foram abordados neste estudo. A malha urbana se expandiu ao longo de um território relativamente plano, ocupando planícies de inundação e canalizando os principais corpos hídricos (por exemplo o córrego da Servidão). Além disso, a impermeabilização do solo causada pela urbanização é o principal fator desencadeador destes processos no município. Outras modificações no relevo natural interferem no escoamento superficial da água, criando zonas de acúmulo temporário e causando os alagamentos.

3.5 Controle de Inundações e Alagamentos

Tucci (2003) descreve dois tipos de inundação: a ribeirinha, que ocorre quando o excesso do volume de água que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios; e o segundo tipo, que ocorre devido a urbanização que impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de condutos e canais. Neste segundo tipo, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo as inundações. O autor ainda afirma que os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população no primeiro caso e da impermeabilização e canalização da rede de drenagem no segundo.

As inundações e os alagamentos afetam um grande número de pessoas, além de causarem impactos econômicos severos. Por este motivo, diversas medidas são discutidas mundialmente com o intuito de prevenir e minimizar seus efeitos. As medidas de controle podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais modificam o sistema fluvial, evitando os prejuízos causados. São obras de engenharia implementadas para reduzir o risco, que vão desde a alteração da cobertura vegetal do solo (e controle de erosão), até a construção de diques, reservatórios e bacias de amortecimento. Já as medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com estes processos. Estas medidas podem ser agrupadas em: zoneamento de áreas de

inundação através de regulamentação do uso da terra, construções à prova de inundações, seguro contra danos, previsão e alerta de inundação (TUCCI, 2003).

O zoneamento de áreas de inundação define a ocupação das áreas de várzea. As áreas de maior risco devem ter o uso vetado para a ocupação e construção de moradias, devendo ser prioritariamente destinada ao uso recreacional, como parques, campos de esportes e áreas de lazer.

Em áreas urbanizadas, as medidas de controle de inundações e alagamentos visam principalmente ações que interferem no escoamento pluvial, interferindo tanto nos canais naturais de drenagem quanto no escoamento superficial em ruas e condutos. Estas medidas podem ser organizadas de acordo com o efeito sobre o hidrograma, modificando as características de infiltração e percolação da água no solo, armazenando vazões em locais estratégicos, aumentando a eficiência do escoamento e construindo diques e estações de bombeamento (TUCCI, 2003).

As medidas que agem localizadas sobre lotes, praças e passeios são chamadas de medidas de controle distribuído, e tem como principais ações o aumento da capacidade de infiltração e percolação, com a criação de planos e valas de infiltração e bacias de percolação, que reduzem o escoamento superficial. Estas bacias são construídas removendo-se o solo e preenchendo-o com cascalho, que cria o espaço para o armazenamento.

Quanto as medidas de armazenamento, destacam-se a construção de pequenos reservatórios residenciais, estacionamentos e áreas esportivas ou telhados para o armazenamento temporário da água.

3.6 Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável

Os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS) são um conjunto de técnicas sustentáveis de controle e gestão das águas pluviais e surgiu como alternativa ao sistema tradicional de drenagem urbana. Este sistema foi concebido para gerir os riscos ambientais do escoamento urbano e contribuir sempre que possível para a melhoria e aprimoramento do ambiente urbano (BALLARD et al., 2007). Os SUDS são dispositivos e técnicas desenvolvidos sobre o tripé quantidade, qualidade e amenidade/biodiversidade (VASCO, 2016). Num contexto mais técnico, representam um conjunto de práticas de gestão, estruturas de controle e estratégias

concebidas de uma forma eficiente e sustentável para recolher o escoamento superficial, além de minimizar a poluição no meio hídrico receptor (SUSDRAIN, 2012).

Estes sistemas representam uma nova vertente de pensamento que relaciona drenagem urbana e sustentabilidade e vêm ganhando força nas últimas décadas no mundo. Foram desenvolvidos nos países do Reino Unido e já são adotados nos Estados Unidos, Austrália e Suécia desde a década de 1980.

Contrariamente à visão tradicional, esta visão integrada tem por objetivo reter a água no local e beneficiar todos os processos que daí advêm; por infiltração promove-se a recarga dos aquíferos e retarda-se a chegada das águas ao meio receptor. Além disso, estes sistemas apresentam impactos positivos ao nível do funcionamento dos ecossistemas (LOURENÇO, 2014).

Este tipo de abordagem à drenagem urbana permite a integração paisagística em meios urbanos, por exemplo através da criação de zonas verdes com o objetivo de drenagem e/ou tratamento de efluentes de drenagem, que dependendo da abordagem de dimensionamento podem ter como objetivo drenar e reter precipitações elevadas, bem como a manutenção do ciclo hidrológico em meios urbanos, promovendo a infiltração e evapotranspiração de águas pluviais (VASCO, 2016).

Assim como as medidas tradicionais de controle, os SUDS também se dividem em medidas de natureza estrutural e não estrutural. As medidas não estruturais, assim como as tradicionais, envolvem o planejamento do uso e ocupação do solo, zoneamento de áreas inundáveis, criação de planos de emergência, entre outros. As medidas estruturais, que mais divergem das tradicionais, são compostas pelas bacias de retenção, trincheiras e poços de infiltração, pavimentos permeáveis, telhados verdes, faixas filtrantes, sistemas de biorretenção, entre outros.

As bacias de retenção, como mostra a figura 3, podem ser ao céu aberto, funcionando como reservatórios ao ar livre construídas em terra, com taludes reforçados ou diques de proteção lateral, combinando características paisagísticas e a valorização de áreas de lazer para jogos, práticas desportivas e espaços verdes. Estas bacias podem ser secas ou com nível de água permanente (LOURENÇO, 2014). Existem também as bacias de retenção subterrâneas, funcionando como verdadeiros reservatórios de regularização. Estas são utilizadas em lugares impossíveis de se construir bacias superficiais, devido a indisponibilidade de espaço em áreas densamente ocupadas.

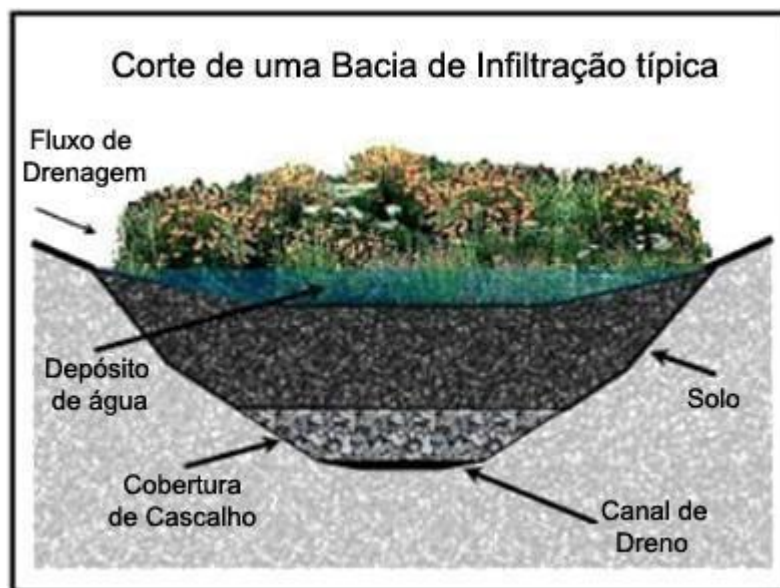


Figura 3. Perfil esquemático de uma bacia de contenção.

Fonte: Freitas et al., 2011

As trincheiras de infiltração são estruturas constituídas por valetas cobertas com material granular poroso, preenchidas com material granular, como brita, seixo, cascalho ou blocos de drenagem, envolvido em geotêxtil para evitar a colmatagem da estrutura. Os poços de infiltração são infraestruturas que permitem a infiltração direta das águas pluviais no solo e permitem o armazenamento temporário, diminuindo os volumes de escoamento superficial, e melhorando a qualidade da água pluvial infiltrada. Consoante as características do solo, o tratamento da água faz-se por sedimentação, filtração e biodegradação, à medida que a água percola pelo solo de infiltração (LOURENÇO, 2014).

Os pavimentos permeáveis permitem a drenagem das águas pluviais através da superfície para as camadas subjacentes, onde a água é armazenada temporariamente até se infiltrar no solo, ser reutilizada ou ser encaminhada para outro componente de drenagem ou para uma linha de água (BALLARD et al., 2007). Estes pavimentos podem ser compostos por blocos de concreto, cerâmicos ou de pedra, com juntas abertas ou blocos de concreto alveolares (figura 4).



Figura 4. Pavimento permeável de betão alveolar.

Fonte: Rhino Pisos (2018)

Os telhados verdes consistem no desenvolvimento de um revestimento vegetal (plantas, flores, arbustos e/ou árvores) ao nível da cobertura, cultivado de forma intencional. Mediante o tipo de vegetação utilizada, a área coberta e as características do substrato, ajudam não só a reduzir a quantidade de águas pluviais que é escoada até aos sistemas de drenagem, como também afetam a qualidade das mesmas (CASTELO-BRANCO, 2012). Estes sistemas podem ser aplicados em edifícios residenciais, industriais ou comerciais, além de parques de estacionamento subterrâneos (figura 5).



Figura 5. Telhado verde construído no edifício Matarazzo, atual sede da Prefeitura de São Paulo e antigo prédio do Banespa.

Fonte: Romero (2015)

As faixas filtrantes são faixas de vegetação que recebem lâminas de escoamento superficial, sendo frequentemente colocadas entre uma superfície impermeável e a linha de água receptora, ou outro qualquer componente de SUDS, pois retêm sedimentos ou outros materiais presentes nas águas pluviais que posteriormente poderiam colmatar outro componente ou dispositivo a jusante (LOURENÇO, 2014).

Os sistemas de biorretenção, também chamados de jardins de chuva, são bacias pouco profundas e de pequenas dimensões, concebidas para captar e filtrar quantidades moderadas de escoamento superficial, usando para isso solo e vegetação. Na sua forma mais simples são apenas pequenos jardins (ou partes de jardins), a uma cota ligeiramente inferior ao resto do solo e densamente preenchidos com várias plantas (SANTOS, 2010). Na sua forma mais complexa podem conter camadas de areia e brita para aumentar o efeito da infiltração. As espécies vegetais mais usadas incluem plantas ornamentais, herbáceas, arbustos e árvores.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

4.1 Localização

A área de estudos engloba a zona urbana e parte da zona rural do Município de Rio Claro, localizado Latitude: 22°24'48" Sul e Longitude: 47°34'11" Oeste. A figura 6 representa a localização da área de estudos. O Município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, integrando a Região Administrativa de Campinas. O município encontra-se a 173 km da capital do Estado e a 240 km do porto de Santos. A partir de Rio Claro estão situadas, num raio de 30 km, várias cidades de pequeno porte, como Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Itirapina, Corumbataí, Analândia, Ipeúna e Charqueada, além das sedes dos municípios considerados de médio porte, como Piracicaba, Limeira e Araras.

De acordo com Zaine (2000):

A sede do município localiza-se a uma altitude de 613 m (marco zero do IBGE, localizado na Igreja Matriz de São João Batista, região central da cidade). A cidade de Rio Claro ocupa, principalmente, o divisor de águas entre o rio Corumbataí e o Ribeirão Claro, que são utilizados como fonte de abastecimento de água para a população (Zaine, 2000, p. 41).

Os principais acessos terrestres ao município são por meio das rodovias estaduais Washington Luiz (SP-310), Fausto Sautomaro (SP-127), Wilson Finardi (SP-191) e Constante Peruchi (SP-316). Outro importante acesso é feito por meio da Ferrovia Bandeirantes (FERROBAN), utilizada exclusivamente para o transporte de cargas da região.

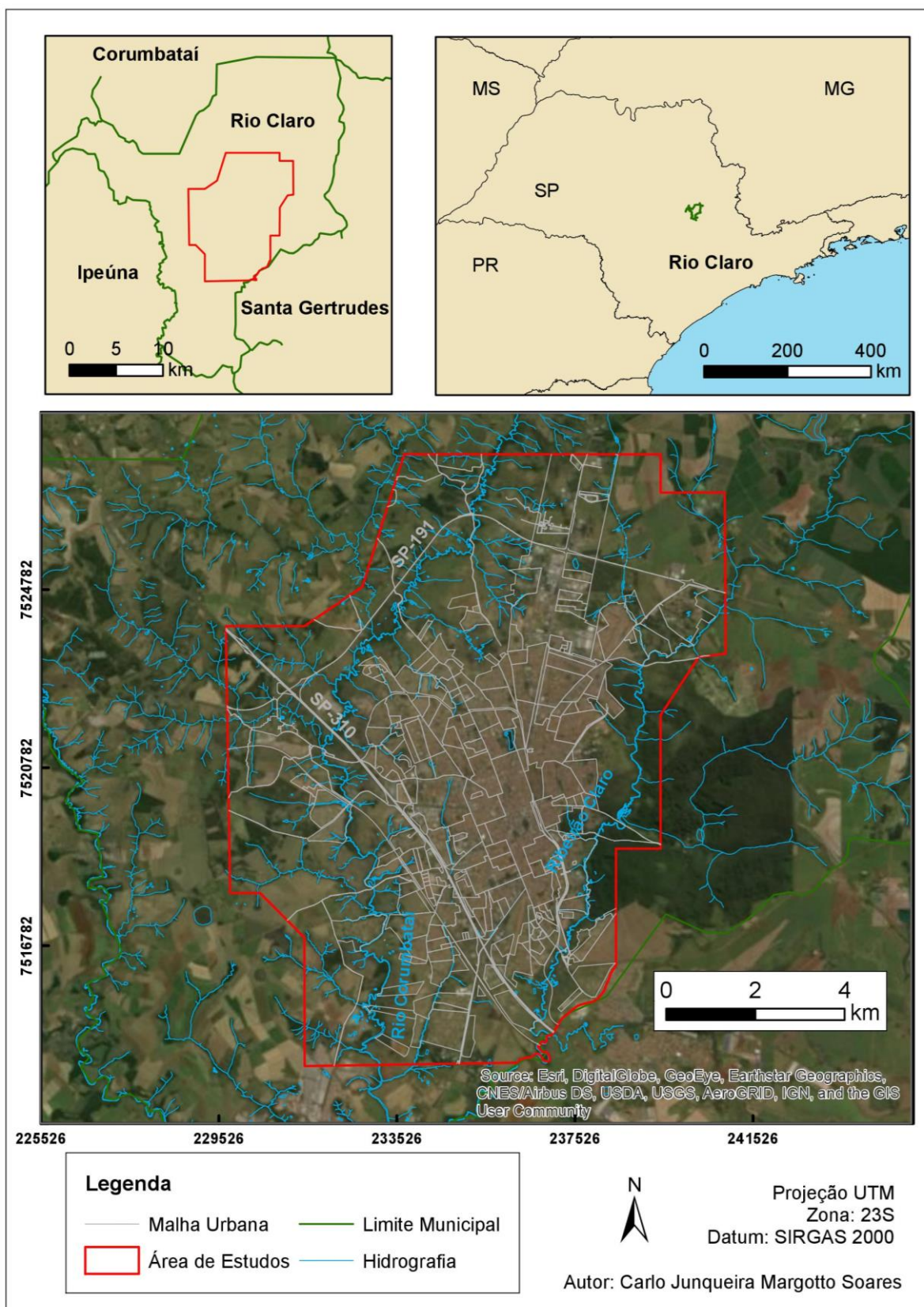


Figura 6. Localização da área de estudos - Rio Claro (SP)

Fonte: elaboração própria

4.2 Aspectos Socioeconômicos

De acordo com último censo divulgado pelo IBGE em 2010, o Município de Rio Claro possui uma população total de 186.253 habitantes, sendo 181.720 residentes em meio urbano (98%) e 4.533 em área rural. Para 2017, a população estimada para o município é 202.952 habitantes.

A economia de Rio Claro é composta por três principais vertentes: a industrial, a comercial e a prestação de serviços. Cada uma possui importância individual e representativa no desenvolvimento e crescimento da cidade. Na área industrial, destaca-se a presença de empresas multinacionais. No setor comercial e de prestação de serviços, Rio Claro representa um papel de caráter regional atendendo não só a economia local, mas também regional (PLANMOB, 2016). No setor agrícola, desde as primeiras décadas de ocupação do território os cultivos de cana-de-açúcar e café, juntamente com a pecuária, tiveram fundamental importância na região. Devido à cafeicultura, até 1842 verifica-se a chegada de grande número de escravos para o trabalho nas fazendas. Por volta de 1850, começaram a chegar em Rio Claro trabalhadores livres para a lavoura do café, representados por imigrantes europeus, trazendo grandes transformações para o sistema agrícola local e incentivando o crescimento urbano (SANCHES, 1978). Atualmente a cultura de cana-de-açúcar passou a dominar o uso do solo na região, incentivada principalmente pelo programa de biocombustíveis do Governo, reduzindo ou praticamente extinguindo outras atividades como culturas temporárias e pecuária (ISLER, 2005).

4.3 Clima

O clima da região de Rio Claro pode ser considerado tropical com duas estações definidas, correspondendo a faixa zonal do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, w: seca no inverno, a: mês mais quente com temperatura superior a 22°C, ou tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973). Assim, podem ser definidas estações alternadamente chuvosa (verão, temperatura máxima de 38°C, média 25°C) e seca (inverno, com temperatura média do mês mais frio

variando entre 3°C e 18°C) (ZAINE, 2000). A temperatura média anual é de 20.3°C é a pluviosidade média anual é 1294 mm. A figura 7 apresenta o climograma de Rio Claro (SP), contendo informações sobre temperatura e precipitação médias mensais.

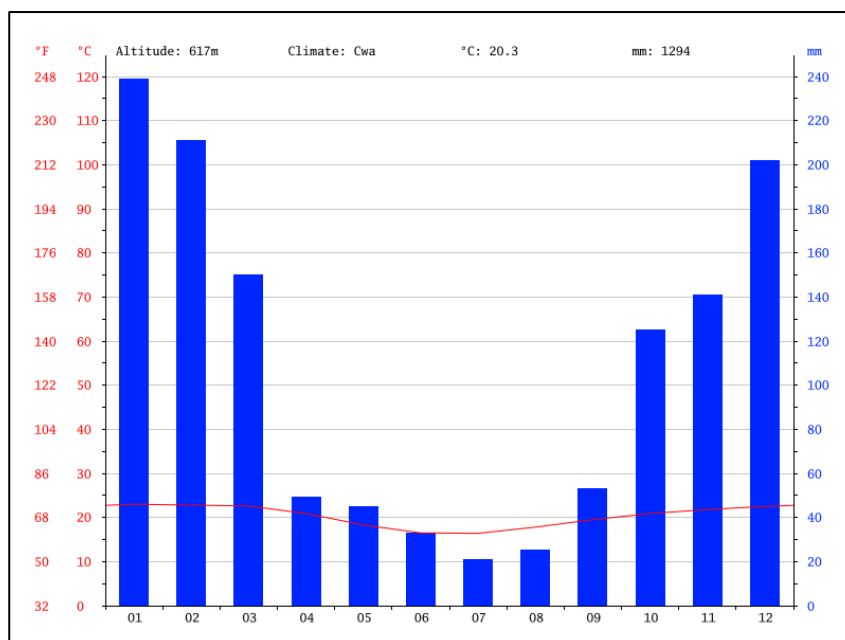


Figura 7. Climograma do Município de Rio Claro, SP

Fonte: Climate-data (2018)

4.4 Hidrografia

O Município de Rio Claro está inserido na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí. A área urbana da cidade situa-se no médio curso deste rio, onde o declive é pequeno, com caimento de 2 m/km e corre em vales abertos, com muitas curvas e meandros em amplas planícies aluviais (PENTEADO, 1976).

O perímetro urbano de Rio Claro é drenado por dois importantes cursos d'água: o Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro. Apresentam-se constituindo um interflúvio natural onde nasceu a cidade e onde se edificou e consolidou a mais antiga e nobre região urbana. As bacias hidrográficas desses rios extrapolam os limites da cidade, mas são seus afluentes que direcionam as águas pluviais que se precipitam na área urbanizada de Rio Claro. A figura 8 apresenta os principais corpos hídricos da área de estudos.

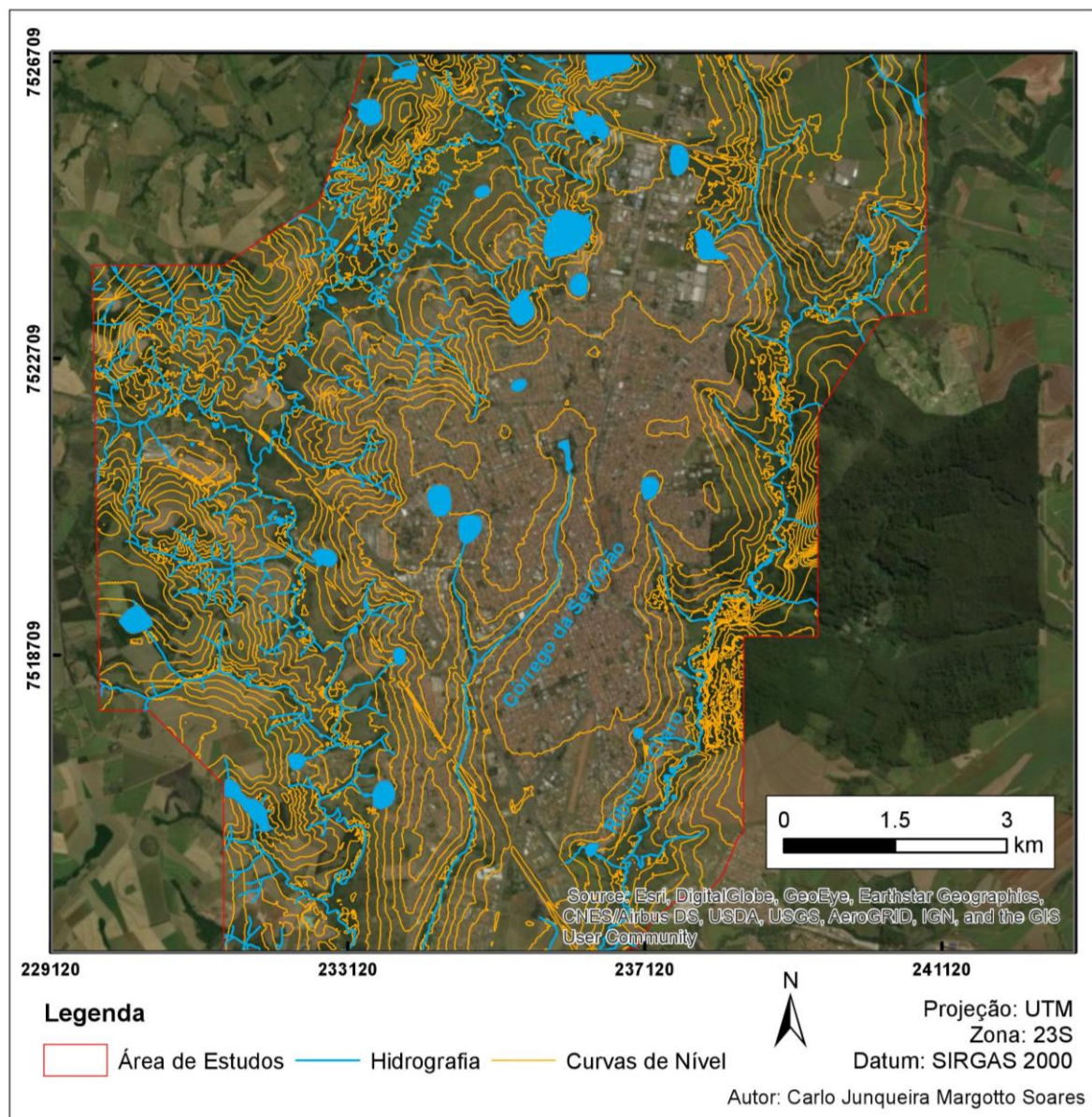


Figura 8. Mapa de hidrografia de Rio Claro (SP)

Fonte: elaboração própria

O Rio Corumbataí possui como principais afluentes o Rio Passa Cinco, Ribeirão Claro e Córrego da Servidão, que nasce no Parque do Lago Azul e corta a cidade canalizado sob uma de suas principais avenidas, a Av. Visconde do Rio Claro (ZAINÉ, 2000). Embora apresente elevada proporção de domicílios e adequada infraestrutura urbana, redes públicas de abastecimento e de coleta superior às médias regional e estadual paulista, algumas de suas áreas apresentam graves problemas relacionados à frequente ocorrência de enchentes. Este processo ocorre devido ao fato da boa permeabilidade do solo estar comprometida, visto que a maior parte dos

terrenos se encontram hoje impermeabilizados pela urbanização (MORUZZI et. al., 2007)

Conforme afirma Tominaga (2009, p.160), as intervenções humanas ao longo da bacia hidrográfica decorrentes da urbanização e dos obstáculos ao escoamento da água são os grandes causadores de danos, os quais podem agravar ou reduzir a magnitude das cheias, pois a urbanização impermeabiliza os solos provocando o aumento do volume de água de escoamento superficial, da velocidade do escoamento e a redução do tempo de resposta da bacia.

O Ribeirão Claro, por sua vez, deságua no Rio Corumbataí a poucos quilômetros ao sul de Rio Claro. De acordo com Zaine (2000):

Os principais tributários são o Córrego Cachoeirinha, com o qual forma o principal manancial de abastecimento público (captação para a Estação de Tratamento de Água - ETA I), o Córrego Lavapés (proveniente da área urbana), e os Córregos Ibatinga e Santo Antônio, que deságuam no Ribeirão Claro, na área do Horto Florestal de Rio Claro (Zaine, 2000, p. 44).

Além de captar água do Ribeirão Claro, outro manancial de superfície que é explorado pelo Município é o próprio Rio Corumbataí, a montante da cidade (captação para a ETA II). Lagoas naturais ou lagoas secas, assim denominadas localmente por sua variação sazonal, completam a descrição dos corpos d'água superficiais da área (Zaine, 2000, p. 45).

4.5 Meio Físico

Os terrenos ocupados pela área urbana atingem altitudes de 625 metros no setor norte, pertencente à área de interflúvio Corumbataí - Ribeirão Claro, e 540 metros já no fundo do vale do Rio Corumbataí (BENTO, 2012).

O interflúvio sub-tabuliforme entre o Rio Corumbataí e Ribeirão Claro apresentam, em geral, altitudes de 600 até 630 metros, os quais são capeados por sedimentos arenosos. Suas bordas caracterizam-se como colinas suavemente convexas, que se desdobram em patamares escalonados até a várzea dos dois rios (CUNHA; MORUZZI E BRAGA, 2009).

Zaine (2000) realizou o mapeamento geológico-geotécnico da região urbana do Município de Rio Claro (figura 9), através do Método de Detalhamento Progressivo. Em seu trabalho foram propostas seis unidades geológico-geotécnicas para a área

estudada, classificadas a partir das características referentes principalmente à geologia local e geomorfologia. Para cada unidade descrita, identificaram-se os problemas e processos desencadeados, como enchentes, alagamentos, erosão, entre outros.

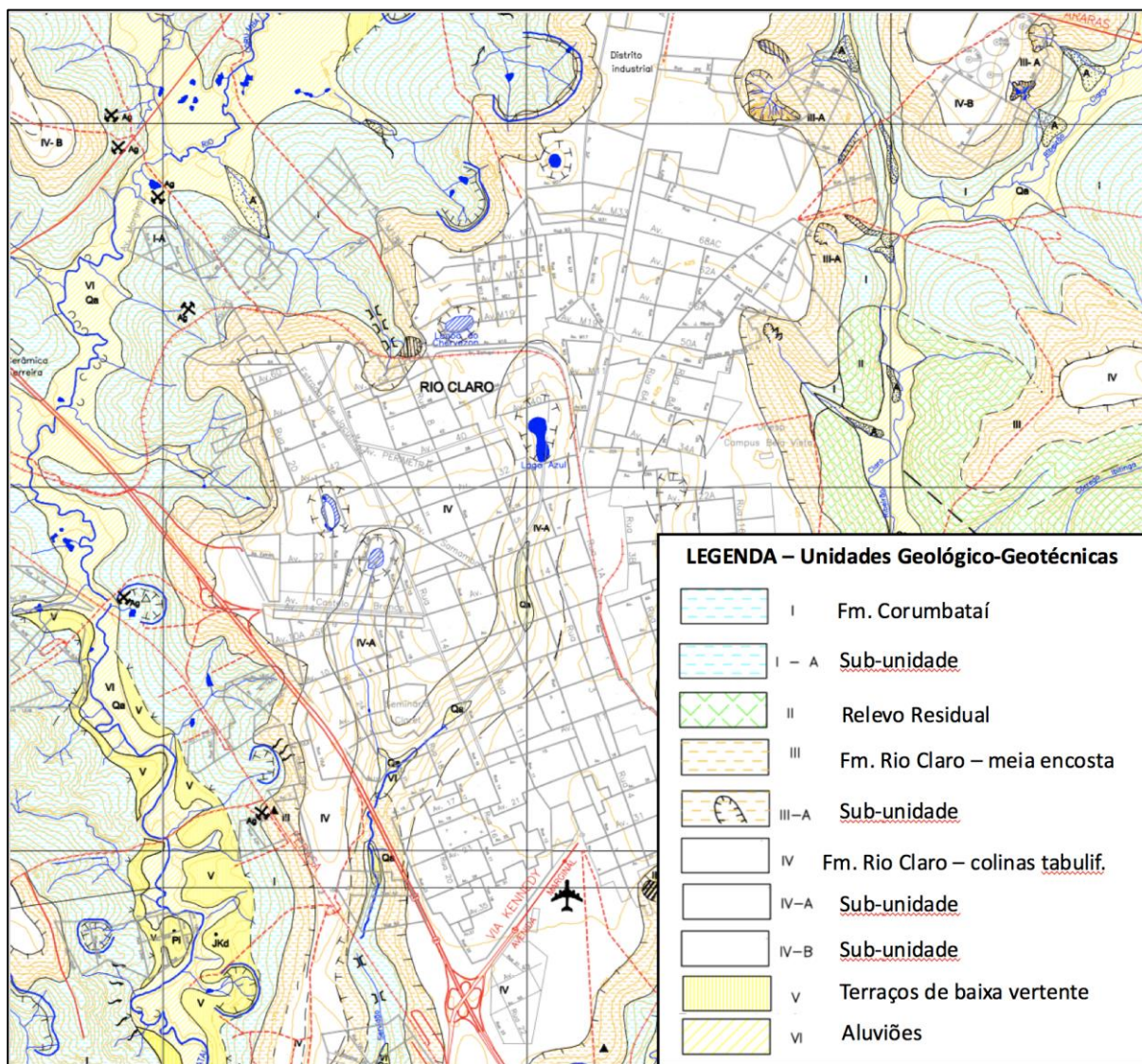


Figura 9. Recorte do Mapa Geológico-Geotécnico de Rio Claro (SP)

Fonte: Zaine (2000)

A Unidade I, que corresponde à área de domínio da Formação Corumbataí, tem ocorrência na porção compreendida entre a média e baixa vertente dos vales do Ribeirão Claro e do Rio Corumbataí (ZAINÉ, 2000, p. 65). Sua geologia é marcada por siltitos e argilitos arroxeados e marrons, cujo relevo varia de colinas mais restritas, morrotes e espigões de topo aplainado. Sua litologia é de baixa permeabilidade,

apresentando alta densidade de drenagem com formação de anfiteatros de nascentes. Apresenta, em geral, declividades baixas e médias, podendo mostrar ângulos mais acentuados em regiões onde os canais de drenagem se encontram encaixados. Zaine (2000) também descreveu neste domínio a ocorrência localizada, nas porções de média/baixa vertente, de solos mais desenvolvidos de textura areno-argilosa (latossolos), os quais foram descritos como Subunidade I-A.

A Unidade II, correspondendo a áreas com relevo residual e domínio de diabásio. Esta unidade é encontrada no morro do Horto Florestal Navarro de Andrade, com altitudes de até 725 m, cerca de 100 m acima da cota média da cidade de Rio Claro e também em média para baixa encosta, fundos de vales e leitos de rios, com destaque ao longo do vale do Ribeirão Claro. Topograficamente, apresenta declividades médias a altas, e representam os pontos mais altos da área de estudos (Zaine, 2000). Os tipos de solos dominantes nessa unidade são latossolo roxo e terra-roxa estruturada (PRADO et al., 1981).

A Unidade III foi demarcada a partir da ocorrência de áreas da Formação Rio Claro na meia encosta. Zaine (1994) descreve seus solos como latossolos e podzólicos, variando de acordo com a posição topográfica e a distância dos corpos d'água. Apresenta ainda elementos muito característicos, nascentes dispostas na forma de semicírculo, denominados de “anfiteatros de nascentes”. Sua Subunidade III-A mantém as características gerais da Unidade III, com uma declividade aparente mais acentuada e a presença de várias voçorocas e ravinas, por vezes agrupadas.

A Unidade IV foi definida como áreas de ocorrência da Formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes (PENTEADO, 1981). Uma característica marcante desta unidade é a baixa declividade, estimadas abaixo de 2%, associada a baixa densidade de drenagem. Os solos são descritos como latossolo vermelho-amarelo e vermelho-escuro. Problemas frequentes como alagamentos são retratados nesta unidade, por se tratar de uma área de relevo bastante aplainado. De acordo com Zaine (2000):

Apesar do solo permeável, o escoamento superficial das águas de chuvas é bastante lento, causando alagamentos em vários pontos, cujo problema é agravado dia a dia pela crescente impermeabilização do solo e arborização urbana bastante precária. Além disso, a presença de lagoas fechadas e de cabeceiras são classificadas pela legislação ambiental Áreas de Preservação Permanente (Zaine, 2000, p.78).

Uma feição morfológica marcante é a presença de lagoas fechadas e de cabeceiras, estas últimas descritas na Subunidade IV-A, onde também são registrados frequentes problemas associados a inundações e alagamentos. Outra Subunidade descrita é a IV-B, definida por um relevo classificado como de colinas amplas e solos classificados como latossolos e declividades passando de baixas a médias.

A Unidade V foi definida pelos terraços de baixa vertente. Zaine (2000) afirma que nesta unidade:

O nível freático é considerado de raso pela situação topográfica e proximidade de corpos d'água. Os tipos de solos mais comumente encontrados são os hidromórficos e orgânicos subordinadamente litólicos e podzólicos (Zaine, 2000, p.78).

Associados a esta unidade são encontrados elementos de relevo e drenagem, onde se concentram nascentes dispostas em forma circular, como se fossem pequenas bacias de receptação, tanto das águas superficiais como das de subsuperfície.

A Unidade VI, definidas por aluviões com solos geralmente hidromórficos e orgânicos, compõem as planícies de inundação dos principais cursos d'água da região. Inundações periódicas são relatadas nesta unidade, normalmente associadas a planícies de inundação natural de rios.

5. MATERIAIS, MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

5.1 Levantamento de Dados

Este trabalho teve como etapa inicial uma consulta a fontes de pesquisas bibliográficas a respeito de artigos relativos a desastres naturais, vulnerabilidade e risco ambiental e metodologias de mapeamento e zoneamento de inundações e alagamentos urbanos através de geotecnologias. Grande parte da bibliografia utilizada foi obtida através do sistema P@rthenon no acervo bibliográfico científico da Unesp e outros acervos online.

5.2 Organização da Base Cartográfica

A etapa seguinte, correspondente a coleta e organização dos dados geoespaciais, realizou-se através do *software ArcGIS 10.5* da ESRI. Informações sobre altitude, declividade, geotecnia, uso e ocupação do solo e os pontos de alagamento da Defesa Civil foram transformadas em *shapefiles*, compondo uma sólida base cartográfica da região de estudos. Utilizou-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator, datum SIRGAS 2000 / Zona 23S.

As informações utilizadas referentes a altitude e declividade foram fornecidas pela Prefeitura Municipal de Rio Claro. A partir desta base topográfica elaborou-se um *shapefile* vetorial contendo as curvas de nível corrigidas e georreferenciadas com equidistância de 1 m. Utilizando a ferramenta “*Create TIN*” construiu-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno. Para o preenchimento das depressões espúrias foi utilizado a ferramenta “*Fill*”, e em seguida foi utilizado para gerar um *shapefile* com informações sobre altimetria no formato *raster*, pela ferramenta “*TIN to Raster*”. Por fim, utilizou-se a ferramenta “*Slope*” para gerar outro *shapefile* com informações sobre declividade (em porcentagem) no formato *raster*.

O mapeamento geológico-geotécnico do município de Rio Claro, realizado por Zaine (2000) através do Método de Detalhamento Progressivo, utilizou informações sobre geologia, pedologia, geomorfologia, entre outras, agrupando em seis unidades

geológico-geotécnicas. Estas informações foram digitalizadas e georreferenciadas por meio da criação de polígonos para gerar um *shapefile* vetorial e convertidas para outro *shapefile* no formato *raster* pela ferramenta “*Polygon to Raster*”.

A partir da interpretação visual de imagens de satélite de 2017, na escala de 1:10.000, disponibilizadas no *software Google Earth-Pro* com resolução espacial de 30 metros, extraíram-se informações sobre o uso e ocupação do solo. Assim como realizado com as informações geológico-geotécnicas, as classes de uso e ocupação foram digitalizadas e georreferenciadas por meio da construção de polígonos vetoriais, e posteriormente convertidas para um *shapefile* no formato *raster*, pelo uso da mesma ferramenta citada acima.

As localizações das áreas de influência dos pontos de alagamento mapeados pela Defesa Civil foram extraídas do documento “Diagnóstico dos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas” (NOVAES, 2014), da Prefeitura Municipal de Rio Claro, georreferenciados por meio de polígonos e reorganizados para facilitar a identificação e análise. As localizações foram separadas em pontos de inundação e alagamento, de acordo com a área de ocorrência de cada uma delas. Criou-se um *shapefile* vetorial composto por polígonos ao redor de cada área de influência. Pela ferramenta “*Polygon to Raster*” foram criados um *shapefile raster* para as áreas de inundação e outro de alagamento.

Os limites municipais e malha viária utilizados na elaboração dos mapas da área de estudos deste projeto foram extraídas da planta cadastral do município fornecida também pela Prefeitura de Rio Claro. As camadas utilizadas para o mapeamento e suas respectivas descrições estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Descrição das variáveis utilizadas para o mapeamento da vulnerabilidade a inundação e alagamento

Variáveis	Altitude	Declividade	Geotecnia	Uso e ocupação do solo	Pontos mapeados pela Defesa Civil
Descrição da importância da escolha da variável	Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação "(...) e maior a de alagamento devido à ação da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas" (MAGALHÃES et al., 2011, p. 65)	"(...) influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação e alagamento do que áreas escarpadas" (MAGALHÃES et al., 2011, p. 65)	As classes geológico-geotécnicas relacionam informações referentes ao tipo de solo, e relevo, que refletem na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água (ZAINE, 2000)	Demonstra como o espaço foi ocupado pelo homem e sua interferência na infiltração, pois "as áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que os solos com cobertura florestal por serem poucos compactas" (MAGALHÃES et al. 2011, p. 65)	Os pontos de inundação e alagamento mapeados pela Defesa Civil são a maior evidência da ocorrência destes processos
Classes encontradas	9 classes: 480 - 510 m 510 - 530 m 530 - 550 m 550 - 585 m 585 - 600 m 600 - 610 m 610 - 625 m 625 - 640 m 640 - 660 m	6 classes: 0 – 1 % 1 – 2 % 2 – 4 % 4 – 8 % 8 – 20 % 20 – 51 %	6 Classes: I II III IV V VI 3 subclasses: I-A III-A IV-A IV-B	10 classes: Floresta Nativa Área Urbana Floresta Plantada Fruticultura Cana-de-açúcar Pastagem Solo Exposto Mineração Rede Hidrográfica Malha Viária	Considerou-se a área de influência ao redor dos pontos de ocorrência de inundações e alagamentos

Fonte: elaboração própria

5.3 Atribuição de Valores

Nesta etapa, atribuíram-se notas de acordo com o grau de vulnerabilidade aos processos de inundação e alagamento, de acordo com o apresentado na tabela 3. Os processos foram analisados individualmente, com o intuito de se distinguir e identificar precisamente as regiões em que cada um destes processos é desencadeado separadamente. Quanto maior a vulnerabilidade da área, maior a nota atribuída, variando de 0 até 10.

Tabela 3. Critérios para atribuição das notas de acordo com a vulnerabilidade a inundação e alagamento

Vulnerabilidade a inundação/alagamento	Notas
 Menos vulnerável  Mais vulnerável	 0  10

Fonte: elaboração própria

Santos et al. (2010) afirmam que a fase de atribuição dos valores é considerada um dos momentos mais importantes durante o processo de confecção dos mapas de inundação e alagamento, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido. Os valores escolhidos foram atribuídos de acordo com as informações adquiridas em pesquisas bibliográficas para duas condições, considerando os processos de inundação e alagamento de acordo com os critérios considerados abaixo.

Altimetria

Considerando o processo de inundação, para as informações relacionadas a altimetria foram atribuídas notas próximas a 10 para áreas com menores cotas, por representarem o fundo das bacias de captação e também localizadas próximas aos cursos d'água. Já as menores notas foram atribuídas para áreas com maior altitude e mais afastadas dos cursos d'água e, por tais características, menos vulneráveis.

Já para o caso de alagamentos, áreas com maiores altitudes receberam maiores notas por apresentarem maior vulnerabilidade. Do mesmo modo, áreas com

cotas menores receberam notas menores, por se tratar de áreas predominantemente afetadas por inundações.

Declividade

As informações relacionadas a declividade receberam valores de acordo com o mesmo raciocínio tanto para inundação quanto para alagamento. Áreas mais íngremes receberam menores notas, pois tendem a acumular menos água que regiões planas. Para as declividades representando os intervalos de 0 a 1% e 1 a 2%, encontradas com maior frequência na área de estudos, atribuíram-se respectivamente notas 9 e 7. O intervalo entre 2 e 4% recebeu nota 5, por ser considerado intermediário na recorrência dos valores obtidos. Já as últimas três classes, de 4 a 8%, de 8 a 20% e de 20 a 51% receberam valores inferiores (3, 2 e 1, respectivamente), devido à baixa probabilidade de acúmulo de água nestas localidades.

Geotecnia

Em relação ao processo de inundação, a Unidade VI apresenta maior vulnerabilidade a este processo, já que ocorre em planícies de inundação dos principais corpos hídricos da região, apresentando periodicamente inundações normalmente associados a estas localizações, e por isso recebeu nota 10. Em seguida, recebendo nota 8 está a Unidade V, uma vez que ocupa terraços de baixa vertente e próximo a corpos d'água, além de apresentar um lençol freático raso e diversos pontos de nascentes. Já a Unidade I e sua subunidade I-A receberam nota 7, principalmente devido a ocorrência entre baixa e média vertente e em geral declividades baixas e médias. Com a mesma nota (7), a subunidade IV-A apresenta também declividades baixas, lagoas fechadas e frequentes ocorrências de inundações.

A Unidade 4 recebeu nota 6, pois apesar de ocupar baixas declividades, apresenta pequena densidade de drenagem associada. Sua subunidade IV-B, que em geral apresenta as mesmas características, recebeu nota 5 devido as declividades um pouco mais acentuadas que a unidade pertencente. A Unidade III recebeu nota 3 por se localizar em regiões de média encosta, enquanto sua subunidade III-A por apresentar declividades um pouco mais acentuadas recebeu nota 2. Por fim, a

Unidade II, considerada menos vulnerável por ocupar cotas mais elevadas recebeu nota 1.

Quando analisado em relação ao processo de alagamento, a subunidade IV-A foi a considerada mais vulnerável e recebeu nota 9, apresentando baixa declividade, lagoas fechadas e diversos alagamentos frequentes. Em seguida, recebendo nota 8, está a Unidade IV, que apresenta em geral as mesmas características de sua subunidade, porém um solo permeável. A Unidade I e sua subunidade I-A por apresentarem baixa a média declividade, alta densidade de drenagem e baixa permeabilidade receberam nota 7. Também com nota 7 encontra-se a subunidade IV-B, que apresenta as mesmas características da sua unidade, porém ocupando declividades médias.

A Unidade III recebeu nota 6 por apresentar diversos anfiteatros de nascentes e ocupar a média encosta. Com nota 5 estão a subunidade III-A, que possui declividades mais acentuadas que sua unidade, e a Unidade V, por conter diversas bacias de receptação e nível freático baixo. Por fim, a Unidade VI, que possui características que influenciam mais o processo de inundação, e a Unidade II, que ocupa áreas mais elevadas e declividade de média a alta.

Uso e ocupação do solo

Para o caso de inundação, atribuiu-se nota 10 para as áreas com maior vulnerabilidade localizadas junto aos corpos hídricos. Áreas de mineração recebeu nota 8, uma vez que se localizam próximas aos rios (em planícies de inundação) para a retirada de areia e argila. Para as áreas com maior impermeabilidade do solo, onde se localizam as áreas urbanas e a malha viária, adotou-se a nota 7. Áreas que apresentam pastagem e solo exposto, geralmente degradados e compactados, receberam nota 5, e fruticultura e cana-de-açúcar receberam nota 3. Por fim, áreas de floresta plantada receberam nota 2, enquanto que as áreas de floresta nativa receberam nota 1, pois se encontram em um estado mais próximo do que seria o natural, com infiltração e escoamento superficial não influenciados por atividades antrópicas.

Analisando o processo de alagamento, as classes consideradas de maior vulnerabilidade e representadas pelas áreas com maiores índices de impermeabilização do solo (áreas urbanas e malha viária), receberam nota 9. Em

seguida, as regiões localizadas próximas a rede hidrográfica receberam 7. Áreas que apresentam o solo exposto e locais de mineração receberam nota 5 por apresentarem a capacidade de infiltração do solo interferida pela compactação e degradação. Pastagem recebeu nota 4, enquanto que as demais classes receberam as mesmas notas que na análise para inundação.

Pontos registrados pela Defesa Civil

As áreas de influência situadas ao redor dos pontos de registro de inundação e alagamento receberam nota 10, enquanto os demais locais receberam nota 0, por serem considerados fora do raio de influência dos pontos.

Abaixo, nas tabelas 4 e 5, encontram-se um resumo de todas as classes e suas respectivas notas atribuídas para as características acima descritas, para os processos de inundação e alagamento, respectivamente. Os pesos definidos foram introduzidos nos *shapefiles* por meio da reclassificação de variáveis através da ferramenta “*Reclassify*”. Em seguida, foram ponderados com o intuito de se representar de forma mais real as condições encontradas no Município de Rio Claro, utilizando o método AHP proposto por Saaty (1977), através da decisão do problema em níveis hierárquicos.

Tabela 4. Classes e notas atribuídas de acordo com o grau de vulnerabilidade a inundação.

Altimetria	Declividade	Geotecnia	Uso e Ocupação	Defesa Civil
640 – 660m: 1	20 – 51%: 1	II: 1	Floresta Nativa: 1	Demais áreas:0
625 – 640m: 2	8 – 20%: 2	III-A: 2	Floresta Plantada: 2	Área influência: 10
610 – 625m: 3	4 – 8%: 3	III: 3	Fruticultura: 3	
600 – 610m: 4	2 – 4%: 5	IV-B: 5	Cana-de-açúcar: 3	
585 – 600m: 5	1 – 2%: 7	IV:6	Pastagem: 5	
570 – 585m: 6	0 – 1%: 9	I: 7	Solo exposto: 5	
550 – 570m: 7		I-A: 7	Área Urbana: 7	
530 – 550m: 8		IV-A: 7	Malha Viária: 7	
510 – 530m: 9		V: 8	Mineração: 8	
480 – 510m: 10		VI: 10	Rede Hidrográfica: 9	

Fonte: elaboração própria

Tabela 5. Classes e notas atribuídas de acordo com o grau de vulnerabilidade a alagamento

Altimetria	Declividade	Geotecnia	Uso e Ocupação	Defesa Civil
480 – 510m: 1	20 – 51%: 1	II: 2	Floresta Nativa: 1	Demais áreas: 0
510 – 530m: 2	8 – 20%: 2	VI: 4	Floresta Plantada: 2	Área influência: 10
530 – 550m: 3	4 – 8%: 3	III-A: 5	Fruticultura: 3	
550 – 570m: 4	2 – 4%: 5	V: 5	Cana-de-açúcar: 3	
570 – 585m: 5	1 – 2%: 7	III: 6	Pastagem: 4	
585 – 600m: 6	0 – 1%: 9	I: 7	Solo exposto: 5	
600 – 610m: 7		I-A: 7	Mineração: 5	
610 – 625m: 8		IV-B: 7	Rede Hidrográfica: 7	
625 – 640m: 9		IV: 8	Área Urbana: 10	
640 – 660m: 10		IV-A: 9	Malha Viária: 10	

Fonte: elaboração própria

5.4 Aplicação do Método AHP

A matriz de decisão foi então elaborada utilizando a escala fundamental de Saaty (tabela 6), para se definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores que serão utilizados (altitude, declividade, geotecnia, uso e ocupação do solo e pontos da Defesa Civil).

Tabela 6. Escala de comparadores

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante que
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: modificado de Saaty (1977)

Com base nesta escala de comparação, elaborou-se a matriz de comparação pareada, apresentada na tabela 7. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior. Logo, quando um fator é confrontado com ele mesmo, o único resultado possível é 1, pois possui igual importância.

Estipulou-se que o fator mais relevante entre todos são os pontos mapeados pela Defesa Civil, pois representam locais onde os processos foram evidenciados de fato. O uso e ocupação do solo vem em seguida, uma vez que impermeabilização do solo (no caso de alagamento) e a proximidade aos corpos hídricos (inundação) apresentam maior importância que os fatores restantes. A declividade, por sua vez, indica a direção e a velocidade do escoamento, e por isso ficou em terceiro lugar. A geotecnia, que em centros urbanos é sobreposta pela impermeabilização do solo, apresenta maior relevância apenas em relação à altitude.

Tabela 7. Matriz de comparação pareada

Fatores	Altitude	Geotecnia	Declividade	Uso e ocupação	Defesa Civil
Altitude	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Geotecnia	3	1	1/3	1/5	1/7
Declividade	5	3	1	1/3	1/5
Uso e ocupação	7	5	3	1	1/3
Defesa Civil	9	7	5	3	1

Fonte: elaboração própria

De posse dos valores de importância relativa dos fatores, o passo seguinte foi determinar pesos estatísticos para cada uma das variáveis. Estes cálculos foram realizados dividindo cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence, e finalmente fazendo-se uma média entre as colunas, determinando assim cada peso, de acordo com o apresentado na tabela 8.

Tabela 8. Determinação dos pesos estatísticos para cada variável

Fatores	Altitude	Geotecnia	Declividade	Uso e ocupação	Defesa Civil	Pesos
Altitude	1 / 25	0,33 / 16,33	0,20 / 9,53	0,14 / 4,67	0,11 / 1,78	0,034821
Geotecnia	3 / 25	1 / 16,33	0,33 / 9,53	0,20 / 4,67	0,14 / 1,78	0,067778
Declividade	5 / 25	3 / 16,33	1 / 9,53	0,33 / 4,67	0,20 / 1,78	0,134350
Uso e ocupação	7 / 25	5 / 16,33	3 / 9,53	1 / 4,67	0,33 / 1,78	0,260232
Defesa Civil	9 / 25	7 / 16,33	5 / 9,53	3 / 4,67	1 / 1,78	0,502819
SOMA	25	16,33	9,53	4,67	1,787	

Fonte: elaboração própria

Através da razão de consistências (RC), a veracidade dos pesos calculados foi avaliada pela equação 1. Para isto, o valor de RC deve ser menor que 0,10, conforme apresentado a seguir:

Equação 1

$$RC = IC / IR$$

Em que,

RC = razão de consistência;

IR = índice aleatório extraído da tabela 9;

IC = índice de consistência, calculado pela equação 2;

Equação 2

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Em que,

n = número de variáveis testadas que corresponde ao número colunas ou de linhas;

$\lambda_{\max}$ = autovetor, calculado pela seguinte equação (equação 3):

Equação 3

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Aw]_i / w_i$$

Em que,

$[Aw]_i$ = matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada pela matriz dos pesos calculados (w_i); e

w_i = pesos calculados.

Pela tabela 9 o valor de IR é de 1,12 para os cinco critérios avaliados, o que resulta num valor para a razão de consistência de 0,054153 (equação 1), considerado aceitável.

Tabela 9. Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n, segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA.

n	2	3	4	5	6	7
IR	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32

Fonte: modificado de Santos et al. (2010)

De posse dos tópicos estatísticos calculados, montou-se o seguinte modelo matemático para elaborar os zoneamentos de vulnerabilidade a inundação e alagamento para o município de Rio Claro, conforme a equação 4.

Equação 4

$$\text{Vulnerabilidade} = 0,5028 * \text{Defesa Civil} + 0,2602 * \text{Uso e Ocupação} + 0,1343 * \\ \text{Declividade} + 0,0678 * \text{Geotecnia} + 0,0348 * \text{Altitude}$$

Este modelo foi introduzido pela ferramenta “*Raster Calculator*” no *software ArcGIS 10.5*, processando as informações contidas nos *shapefiles* criados e gerando assim o zoneamento final de vulnerabilidade para os casos de inundação e alagamento para o município de Rio Claro. A figura 10 apresenta o fluxograma de metodologia adotada no trabalho.

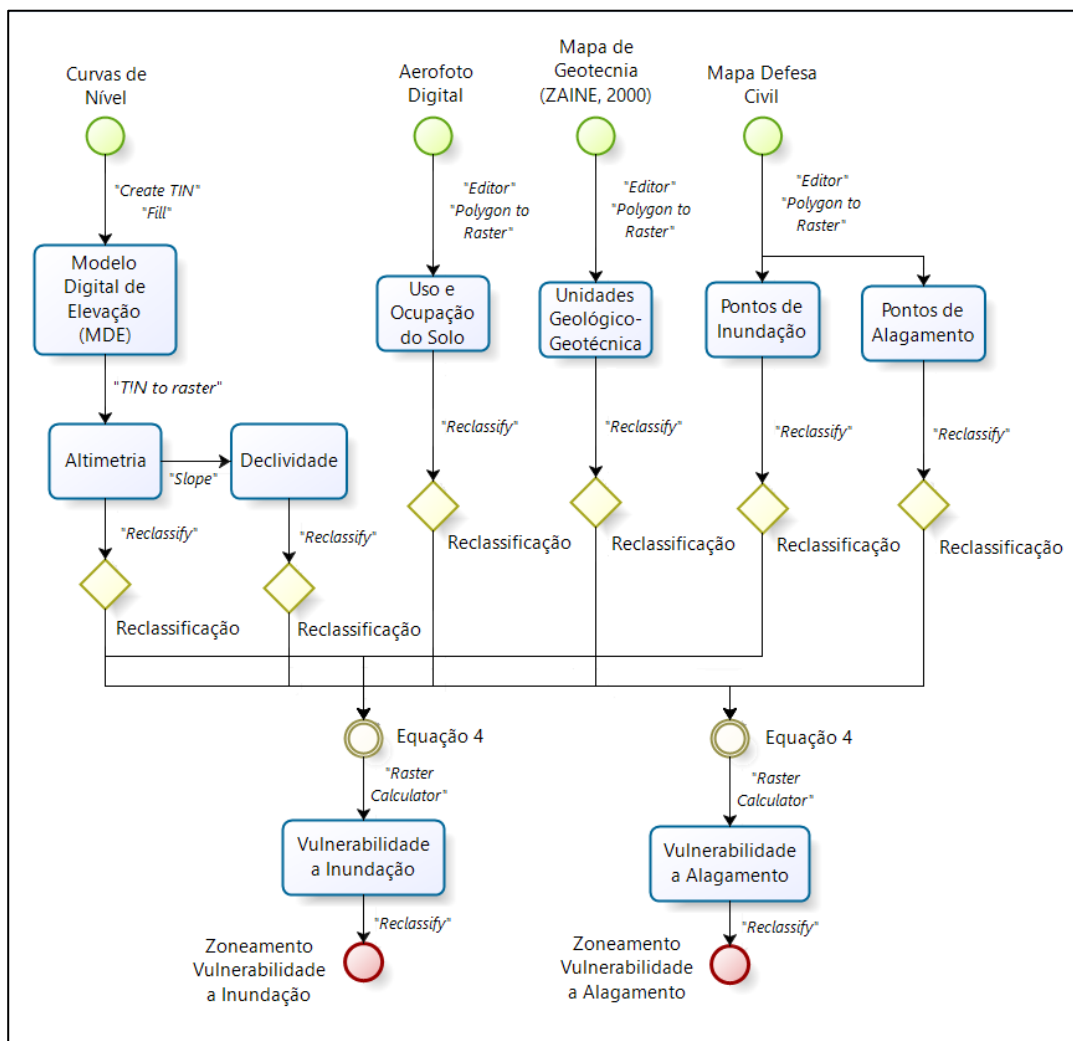


Figura 10. Fluxograma da metodologia adotada no trabalho

Fonte: elaboração própria

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Análise do Material Cartográfico Digital Gerado

Os *shapefiles* contendo informações referentes a altimetria e declividade gerados na etapa de preparação da base cartográfica estão representados nas figuras 11 e 12, respectivamente. Pode-se observar que áreas com cotas inferiores e ao mesmo tempo com declividades mais acentuadas encontram-se ao longo do Rio Corumbataí, principal corpo hídrico da região. Outra área de destaque situa-se ao longo do curso do Ribeirão Claro, apresentando altas declividades, porém ocupando as cotas mais elevadas da área de estudos. Por outro lado, a região mais plana encontra-se na planície de inundação do Córrego da Servidão, em cotas variando de 600 a 640 metros, onde também há o maior centro urbano do município.

A figura 13 apresenta o *shapefile* gerado com informações do uso e ocupação do solo elaborado a partir da fotointerpretação de uma imagem de 2017 da área de estudos. A análise da imagem *raster* produzida permitiu interpretar quantitativamente a área de estudos. A pastagem representa aproximadamente 34,50% da área, sendo o principal uso do solo da região. Em segundo lugar encontra-se a área urbana, ocupando aproximadamente 32,71% da área. O cultivo de cana-de-açúcar também se apresenta como uma importante cultura no município e na região, com 10,34% da área. A área de floresta nativa (predominantemente cerrado) ocupa 9,28% da área, enquanto as áreas de floresta plantada, representada principalmente pelo eucalipto, ocupam cerca de 5,98%.

As unidades geológico-geotécnicas estão representadas na figura 14. As unidades mais representativas na área de estudos são as Unidades I e IV. A Unidade I, correspondendo a formação Corumbataí, ocupa cerca de 34,43% da área de estudos, principalmente entre a média e baixa vertente dos vales do Ribeirão Claro e do Rio Corumbataí. Já a Unidade IV, definida pela formação Rio Claro com relevo de colinas tabuliformes, engloba aproximadamente 26,55% da área, ocupando regiões de baixa declividade, onde se desenvolveu o maior centro urbano. A unidade VI ocupa as principais planícies de inundação dos rios contidos na área de estudos, representando aproximadamente 11,32% da área.

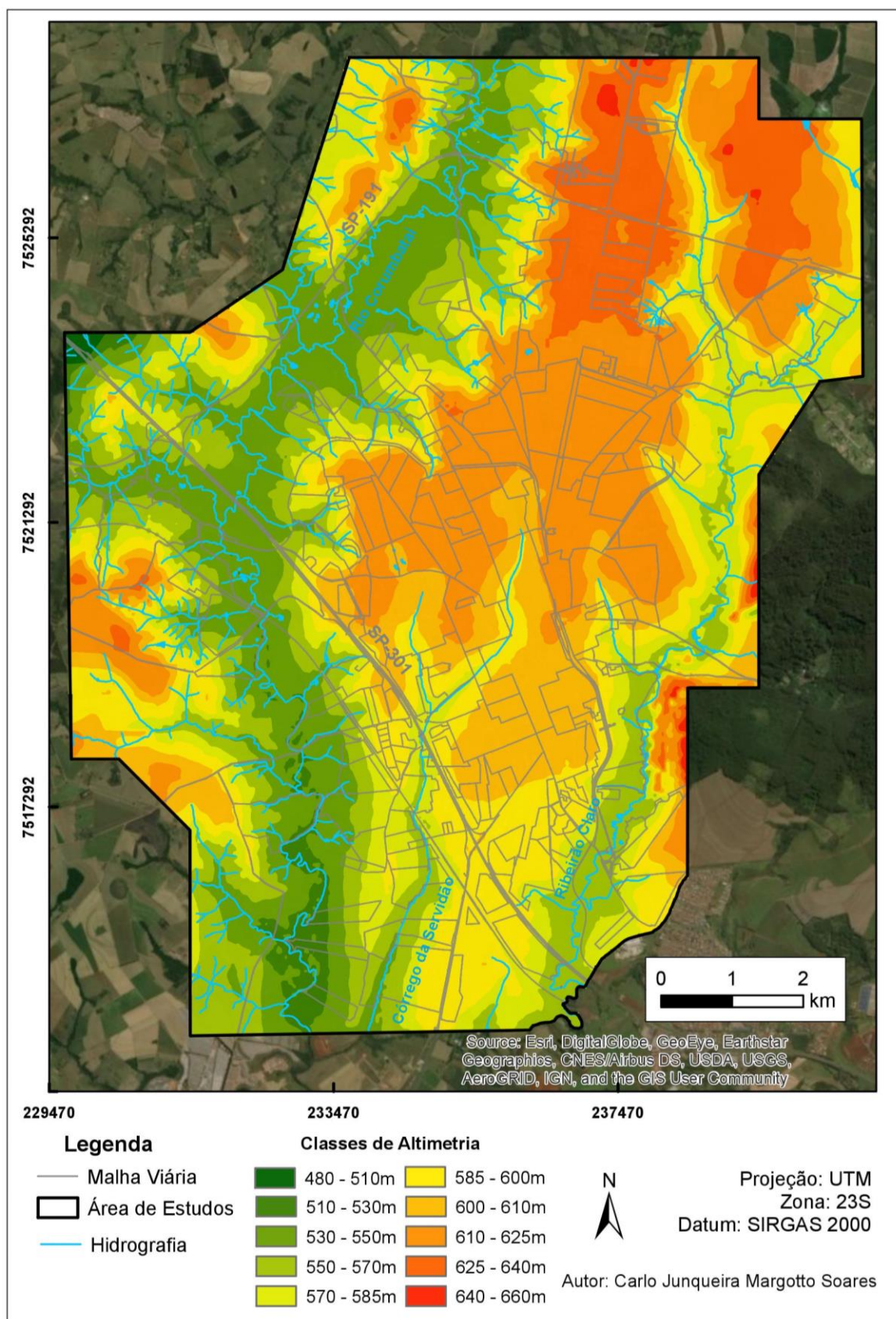


Figura 11. Mapa de altimetria de Rio Claro (SP)

Fonte: elaboração própria

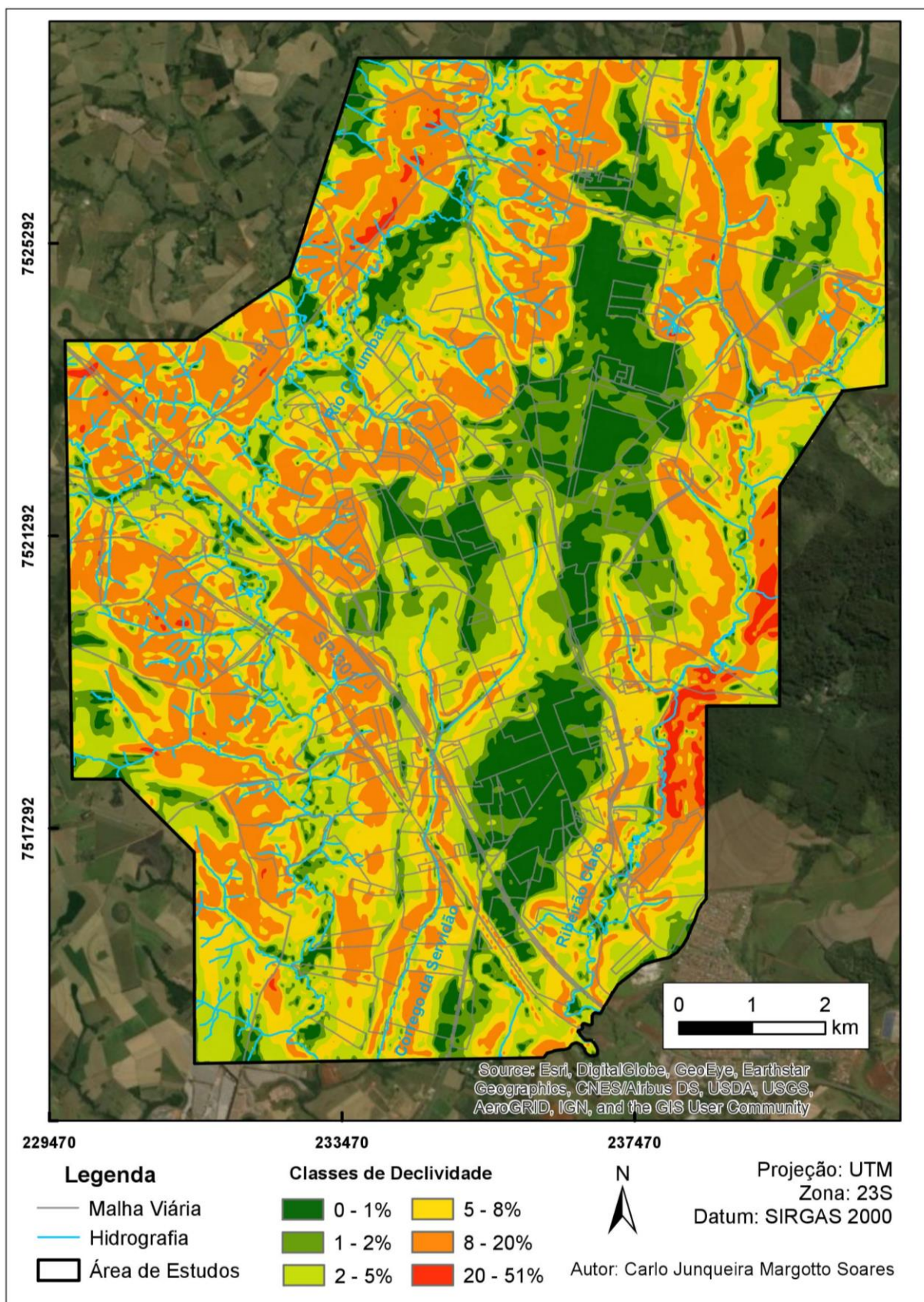


Figura 12. Mapa de declividade de Rio Claro (SP)

Fonte: elaboração própria

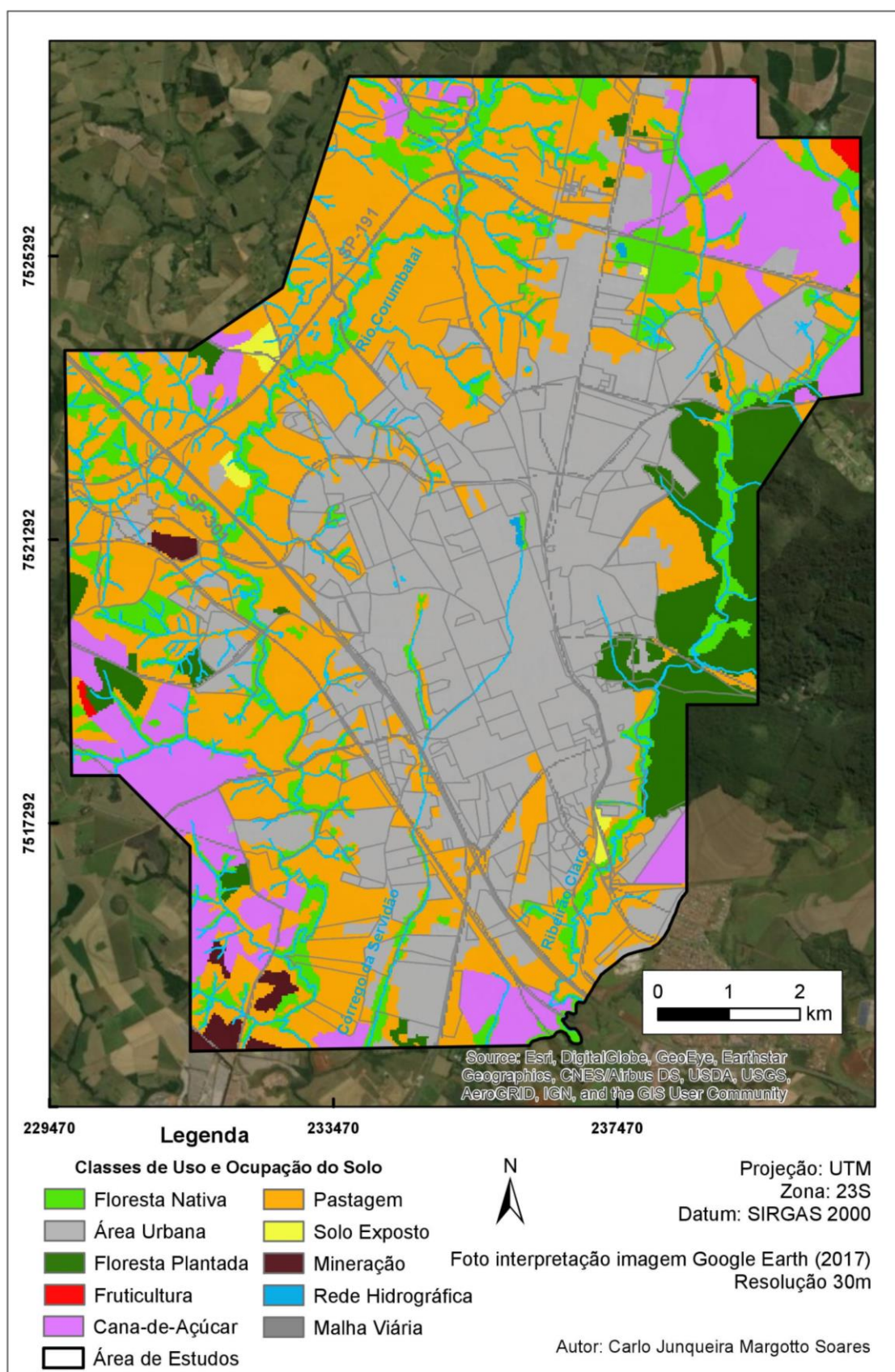


Figura 13. Mapa de uso e ocupação do solo de Rio Claro (SP)

Fonte: elaboração própria

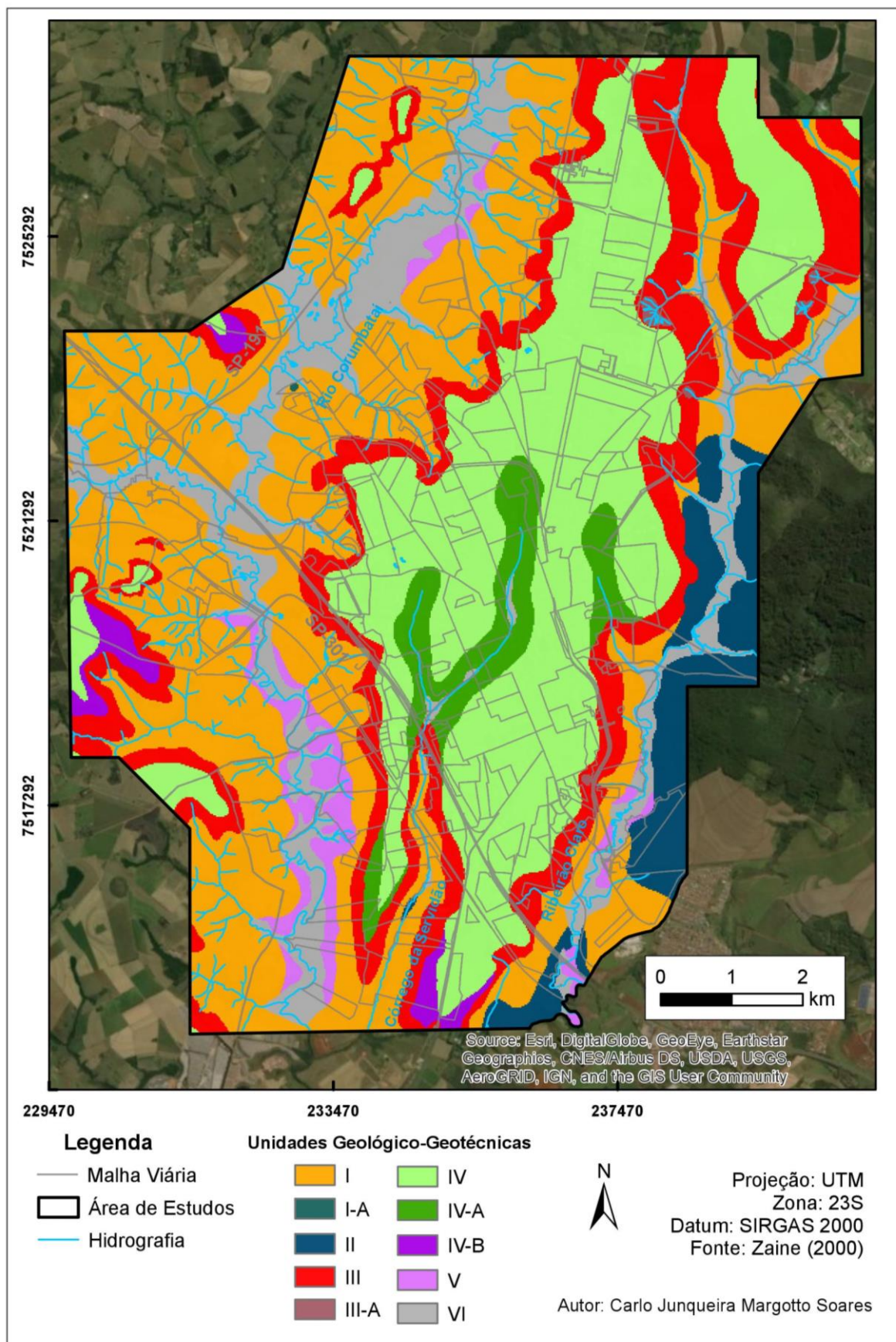


Figura 14. Mapa de geotecnia de Rio Claro (SP)

Fonte: modificado de Zaine (2000)

Os cruzamentos das informações reclassificadas contidas nos *shapefiles* acima pela equação 4 atribuíram valores ponderados para os pixels (com 30 m de largura) entre 0 e 10. Estes valores foram divididos em 5 classes diferentes, com o intuito de classificar e analisar as áreas de vulnerabilidade a inundação e alagamento de acordo com a tabela 10.

Tabela 10. Valores atribuídos para as Classes de Vulnerabilidade

Valores	Classes de Vulnerabilidade
0 – 2	Muito baixa
2 – 4	Baixa
4 – 6	Média
6 – 8	Alta
8 – 10	Muito alta

Fonte: Modificado pelo autor a partir de Santos et al. (2010)

O zoneamento de áreas vulneráveis a inundação (ANEXO I) identificou com precisão as principais regiões afetadas por este processo. Destaca-se primeiramente a região da Av. Visconde de Rio Claro, construída sobre o Córrego da Servidão, que engloba 6 pontos de alagamento registrados pela Defesa Civil, conforme apresentado na figura 15. Esta área é responsável por drenar grande parte do escoamento superficial da cidade, pois encontra-se em cotas inferiores e frequentemente é afetada por inundações, de acordo com a figura 16.

Ao longo do Rio Corumbataí encontram-se duas grandes zonas classificadas com vulnerabilidade variando de média a muito alta. A primeira zona localiza-se a sudoeste da área de estudos, no bairro Jardim Nova Rio Claro e engloba 6 pontos de inundação registrados pela Defesa Civil. Apesar de sofrer prioritariamente com o processo de inundação esta área também é afetada por alagamentos, devido ao seu relevo plano e a impermeabilização do solo. A montante deste rio, encontra-se próximo da estrada velha de Ipeúna outra região de destaque, englobando 2 pontos de alagamento registrados. Esta região, que é acesso aos bairros Jardim Novo Wenzel e Jardim Bom Sucesso, apresenta áreas com vulnerabilidade muito alta e frequentemente sofre com problemas referentes causados por inundações quando o nível de água do rio se eleva e ocupa as áreas de várzea, impedindo o tráfego de

automóveis e pessoas (figura 17). Existe ainda no bairro Jardim Santa Maria uma região de destaque em um afluente do Rio Corumbataí, na estrada de Jacutinga.

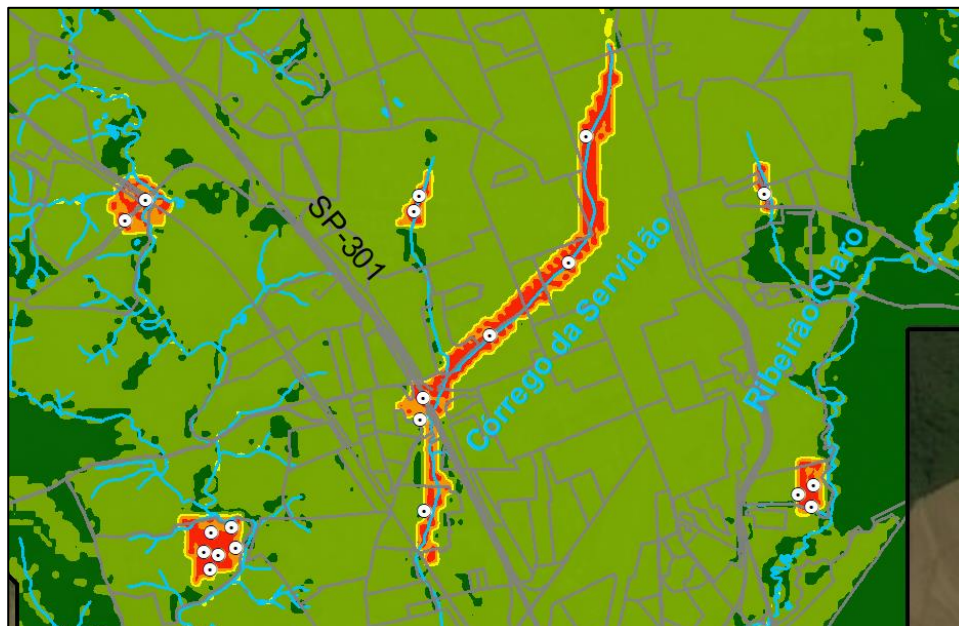


Figura 15. Recorte do zoneamento de áreas vulneráveis a inundação

Fonte: elaboração própria



Figura 16. Foto de cratera aberta no asfalto durante forte chuva na Avenida Visconde de Rio Claro (SP)

Fonte: Antonio (2013)



Figura 17. Alto nível de água do Rio Corumbataí, acesso ao Jardim Novo Wenzel.

Fonte: Jornal da Cidade (2016)

Pelo Ribeirão Claro e seus afluentes encontram-se outras regiões de destaque, pela Avenida Ulisses Guimarães (Cidade Nova), no Jardim Conduta, e no Parque da Mãe Preta (próximo ao Córrego da Mãe Preta). Por fim, na região do Jardim São Paulo (pelo Córrego Mirassol), outra região classificada com vulnerabilidade muito alta foi identificada, coincidindo com dois pontos registrados pela Defesa Civil.

Já o zoneamento de áreas vulneráveis a alagamento (ANEXO II) indica que as áreas que requerem maior atenção se localizam a noroeste da região da mancha urbana do município de Rio Claro, ocupando regiões com baixa declividade (até 2%) e com alto índice de impermeabilização do solo (figura 18). Nestas áreas o escoamento pluvial é lento, acumulando em pontos onde o sistema de drenagem urbana é ineficiente e gerando alagamentos. Nesta região destacam-se pontos de alagamento pela Avenida Felício Castelano (Vila Cristina), Avenida Brasil e ao Redor do Parque Lago Azul (figura 19).



Figura 18. Recorte do zoneamento de áreas vulneráveis a alagamento

Fonte: elaboração própria



Figura 19. Ponto de alagamento localizado na Rua 1-A, entre as Avenidas 32 e 36, no Lago Azul.

Fonte: Lopes (2017)

Ao sul da cidade também se localizam regiões com vulnerabilidade muito alta próximas ao aeroporto, localizadas pelos bairros Vila Paulina, Bairro do Estádio e pela Avenida Presidente Kennedy, figura 20. Outras áreas de alagamento na região noroeste do município também foram identificadas, como a Lagoa Seca Cherveson e outros lugares pelo Jardim Bela Vista, Jardim Olinda, Jardim Hipódromo.



Figura 20. Registro de alagamento na Avenida Presidente Kennedy, na saída para a Rodovia Washington Luís.

Fonte: Mura (2017)

Observa-se boa correlação entre os pontos de ocorrência de alagamento e inundação mapeados pela Defesa Civil e os zoneamentos elaborados neste trabalho. De acordo com o documento elaborado pela Prefeitura, a maioria dos problemas relatados são reflexos da insuficiência dos sistemas de micro e macrodrenagem da cidade. Os problemas relacionados a microdrenagem em geral estão associados a falta de capacidade de transporte das galerias pluviais urbanas. Além disso, diversos córregos do município encontram-se assoreados, necessitando limpezas periódicas para manter os canais em condições de transportar maiores cheias sem que haja transbordamentos em suas calhas. Como exemplo estão os Córregos da Servidão e Wenzel, Lago Azul, entre outros.

6.2 Medidas de Mitigação

Algumas medidas de caráter estrutural podem ser adotadas para mitigar o problema, como por exemplo a construção e ampliação de galerias pluviais subterrâneas, aumentando a capacidade de transporte dos elementos de drenagem urbana e a construção de grandes reservatórios e piscinões para amortecer os grandes picos de chuva. Estas soluções possuem um elevado custo de implantação

e muitas vezes se tornam inviáveis devido a realidade financeira dos municípios do país, além de criar uma falsa sensação de segurança para a população e incentivar a ocupação e o adensamento urbano nestas regiões.

Como medida de controle distribuído, destaca-se a construção de cisternas, trincheiras e telhados verdes em lotes privados, tanto para retenção e amortecimento do pico das chuvas quanto para a reutilização da água em atividades domésticas (limpeza, higiene e jardinagem). Regiões com alta vulnerabilidade na área urbana podem receber pavimentação e calçadas permeáveis em estacionamentos, garagens e outras áreas que não recebem um fluxo intenso de veículos pesados. Estas soluções dependem diretamente de políticas públicas de incentivo, reduzindo impostos e taxas sobre os materiais utilizados para a construção e redução de impostos municipais, uma vez que necessita de ampla adesão da população para que os efeitos sejam de fato sentidos.

Lagoas que foram drenadas no passado e atualmente sofrem com problemas de assoreamento, como o caso da Lagoa Cherveson, poderiam ser revitalizadas, servindo novamente como uma área de armazenamento e combinando características paisagísticas e a valorização de áreas de lazer para jogos, práticas desportivas e espaços verdes ao redor.

Por fim, medidas de controle não estruturais devem ser implantadas como complemento das medidas estruturais. Sugere-se que programas de educação ambiental voltados para a população sejam implantados para conscientizar os moradores sobre a conservação dos recursos naturais e qualidade do meio ambiente. Além disso, destaca-se a importância da constante manutenção e adequação dos planos de planejamento e zoneamento ambiental do município.

7. CONCLUSÃO

Neste estudo foram elaborados *shapefiles* contendo informações importantes da área de estudos sobre altimetria, declividade, uso e ocupação do solo, geotecnia e os pontos de registro da Defesa Civil. A partir destas informações elaborou-se o zoneamento das áreas vulneráveis a inundação e alagamento, permitindo a identificação das áreas mais críticas com a associação dos principais fatores físicos desencadeadores destes processos.

As áreas com maior vulnerabilidade a inundação identificadas pelo zoneamento se localizam próximas aos corpos hídricos (planícies de inundação), ocupando as cotas mais inferiores da área de estudos. As principais áreas de inundação de destaque se localizam pelo córrego da Servidão (região central da cidade) e pelo Rio Corumbataí. Já as áreas com maior vulnerabilidade a alagamento se encontram dentro da malha urbana do município de estudo. Observa-se que grande parte da urbanização foi caracterizada com vulnerabilidade média, o que evidencia a relação da impermeabilização do solo associado à baixa declividade do terreno, com surgimento de regiões de alagamento.

Apesar de aparentemente identificar com precisão as áreas mais vulneráveis em relação aos pontos da Defesa Civil, a inclusão destes registros no pareamento dos fatores pelo Método AHP atribuiu um peso superestimado a este fator, ofuscando a importância dos demais, além de condicionar os resultados a coincidirem precisamente com as informações fornecidas pela Defesa Civil.

Duas alternativas são sugeridas para solucionar este problema: a primeira delas seria remover os pontos de registro do pareamento dos fatores, de modo que apenas as informações sobre as características físicas seriam utilizadas para o zoneamento das áreas vulneráveis. Esta situação seria mais efetiva se aplicada na etapa de pré-ocupação do território, definindo áreas que deveriam ou não ser ocupadas (e de que maneira) por atividades antrópicas.

A segunda alternativa seria manter os pontos de registro da Defesa Civil, porém agregando informações sobre a frequência de ocorrência destes processos, ponderando desta maneira as notas atribuídas a este fator. A aplicação desta alternativa se torna mais eficiente para a atual situação da área de estudos, contribuindo para a tomada de decisões de caráter mitigador. Pode ser utilizada

também para a elaboração de rotas de tráfego evitando as regiões mais críticas em casos de precipitações intensas.

Para ambas alternativas, fica evidente a importância que o planejamento urbano associado ao ambiental, por meio do zoneamento ambiental e da elaboração de políticas públicas tem sobre a questão das inundações e alagamentos urbanos. O planejamento deve ter o foco inicial de ordenar a ocupação urbana, impedindo que áreas consideradas de importância para o meio ambiente, como Áreas de Preservação Permanente, planícies de inundação, margens de rios e outras sejam ocupadas.

Para continuação deste projeto, sugere-se adicionar a esta análise modelos hidrológicos de propagação de chuvas, aumentando a quantidade e qualidade das informações pareadas e consequentemente dos resultados obtidos. Além disso, informações sobre densidade demográfica também podem ser incluídas, expandido o conceito atual para o zoneamento de áreas de risco.

O uso de geotecnologias contribuiu expressivamente para este trabalho, devido a facilidade de se trabalhar com informações digitais utilizando dados adquiridos gratuitamente pela internet e permitindo análises de multicritério que seriam impossíveis utilizando mapas físicos. A utilização do *software ArcGIS 10.5* se mostrou eficaz na otimização e preparação dos arquivos de base. Em geral, este método demonstrou boa aplicabilidade, fornecendo em bons resultados especialmente em locais de difícil acesso e distante de análise de campo. Além disso, possui vantagens em relação a outros métodos no que diz respeito a rapidez e custos reduzidos, pois não necessita coleta de dados ou amostras em campo. Outro importante fator é a facilidade para o compartilhamento das informações, permitindo que outras pessoas possam reproduzir o mesmo cenário, e que a mesma técnica possa ser difundida e adotada em diferentes áreas de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, I. D. Defesa Civil monitora 47 pontos de alagamento em Rio Claro, SP. **G1 – globo.com**. 2013. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2013/12/defesa-civil-monitora-47-pontos-de-alagamento-em-rio-claro-sp.html>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

AQUINO, A. R. et al. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo, 2017. p. 15 -28.

BASTOS, V. da S. B. **Mapeamento de áreas susceptíveis a sinsitros climáticos no município de Rio Claro - SP**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118239/bastos_vsb_tcc_rcla.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 fev. 2018.

BALLARD, B. W., et al. **The SUDS Manual**. CIRIA - Construction Industry Research and Information Association, Londres, 2007.

BECKER, B.; BRAUNSCHWEIG, T. **Choosing research priorities by using the analytic hierarchy process: an application to international agriculture**. 2004. Swiss Centre for International Agriculture (ZIL), Swiss Federal Institute of Technology, ETHZentrum, SEC C7, CH-8092 Zürich, Switzerland.

BENTO, B. M. P. **Classificação e mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações no bairro Jardim Inocoop - Rio Claro - SP**. 2012. 101 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012. Disponível: <<http://hdl.handle.net/11449/118273>>. Acesso em: 17 fev. 2018

BRESSANE, A. et al. **Caso de aplicação de geotecnologias no diagnóstico ambiental de bacias hidrográficas urbanizadas: Córrego da Servidão no Município De Rio Claro (SP)**. 7º Simpósio Brasileiro de cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá, 2009. P. 1-11. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/caso_de_aplicacao.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2018.

CABELLO, J. M. A. **La consideración de las áreas inundables em la ordenación urbanística**. Avances y retos pendientes. In: La Gestión del agua en la ciudad del siglo XXI, n. 1, 2018, Cadiz.

CASTELO-BRANCO, M. **Coberturas Ajardinadas**: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais. 2012. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

CLIMATE-DATA. Clima: Rio Claro. **Climate-data.org**. 2018. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/10674/>. Acesso em: 9 mai. 2018.

CONSORCIO DE COMPENSACION DE SEGUROS. **Estadística: riesgos extraordinários** – série 1971 – 2016, 2016. Disponível em: <https://www.conorseguros.es/web/documents/10184/44193/RREE_2016.pdf/14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522> Acesso em: 6 mai. 2018.

COSTA, R. H. M. R. **Os migrantes nacionais em Rio Claro e sua inserção no espaço urbano**. 1996. 196 f. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

CUNHA, C. M. L. C.; MORUZZI, R. B.; BRAGA, R. **Diagnóstico dos elementos de drenagem da área urbana de Rio Claro-SP: subsídios para o plano diretor**. Revista de Estudos Ambientais, v. 11, n. 2, p. 88-100, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/134403>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

DALFI, R. L.; et al. **Cenários distintos no mapeamento de áreas de inundação nos bairros do município de Alegre, ES**. 2013. Caderno de Geociências, Alegre, ES, v. 10, n. 2, p. 78-86, 2013. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/Publicacoes/Artigo47.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2017.

DELGADO, N. A. S. M. **Geoprocessamento na análise da vulnerabilidade ambiental desencadeada pela monocultura de cana-de-açúcar na bacia do distrito Santa Olímpia (Piracicaba/SP)**. 2011. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118860>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO. **Obras de canalização do córrego da Servidão avançam na região do Inocoop**, 2011. Disponível em: <<http://imprensa.rioclaro.sp.gov.br/?p=7240>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

FILENI, R. de F. C. **O processo migratório para o interior paulista: o caso de Rio Claro**. 2004. ix, 141 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/95718>>.

FREITAS, I. T. W.; et al. **Impermeabilização dos Solos Urbanos – Problemas e Soluções**. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2011. Disponível em <<https://petcivilufjf.files.wordpress.com/2011/11/bacia.jpg>>. Acesso em 4 de mai. de 2018.

GRANDZOL, J. R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. Bloomsburg University of Pennsylvania. **IR Applications** V. 6, August 24, 2005.

JORNAL DA CIDADE. Fotos: temporal causa alagamentos em vários pontos de Rio Claro. **Jornal da Cidade**. 2016. Disponível em: < <https://www.jornalcidade.net/fotos->

temporal-causa-alagamentos-em-varios-pontos-de-rio-claro/27652/>. Acesso em: 1 jun. 2018.

IBGE. **Censo 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 19 nov. 2017.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros (MUNIC)**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

ISLER, E. A; OLIVEIRA J. C. V. **O Agronegócio de Rio Claro**. 2005. Rio Claro: Prefeitura Municipal de Rio Claro & IGEagro, 2005.

LOPES. J. Julinho Lopes solicita providências para solucionar problema de alagamento na Rua 1-A, no Lago Azul. **Julinho Lopes**. 2017. Disponível em: <<http://www.julinholopes.com.br/alagamento-na-rua-1-a-entre-as-avenidas-32-e-36-no-lago-azul-vila-aparecida/>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

LOURENÇO, R. R. de A. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis**. 2014. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MAGALHÃES, I.A.L.; AGRIZZI, D.V.; THIAGO, C.R.L.; SANTOS, A.R. Metodologias distintas para mapeamento das áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES, utilizando sistemas de informações geográficas. In: SANTOS, A.R.; PELUZIO, J.B.E.; PELUZIO, T.M.O.; SANTOS, G.M.A.D.A. (org.) **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**. Alegre – ES, 2012. p. 114 - 125. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/Publicacoes/Capitulo13.pdf>>. Acesso em 30 out. 2017.

MAGALHÃES, I.A.L.; THIAGO, C.R.L.; AGRIZZI, D.V.; SANTOS, A.R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, nov. 2011, p. 63-70. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/viewFile/5288/4036>> Acesso em: 20 out. 17.

MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. (Eds.) **Geographical Information Systems: Principles and Applications**. Vol. 2, Longman Scientific & Technical, 1991.

MIGUEL, A. E. S., MEDEIROS, R. B., OLIVEIRA, W. **Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Taquaruçu/MS**. 2013. Fórum Ambiental da Alta Paulista [online] 9, n. 2. Disponível: <<http://dx.doi.org/10.17271/1980082792201353>> 7. Acesso: 03 mar. 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. CARVALHO, C. S; MACEDO, E.S.de; OGURA, A.T., organizadores. **Mapeamento**

de Riscos em Encostas e Margens de Rios. 1ª Ed. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

MONTANHA, A. L. **Análise dos processos de alagamento e inundação na bacia do córrego Mirassol, em Rio Claro – SP.** 2017. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2017.

MONTEIRO, C.A.F. - 1973. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo.** Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 130 p.

MORAES, I. C. **Análise da dinâmica do uso da terra e sua interferência em inundações na cidade de Rio Claro (SP).** 2011. 114 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/92936>>. Acesso em: 27 out. 2017.

MORUZZI, R. B. et al. **Contribuição metodológica para a caracterização de áreas potenciais de inundação em uma bacia hidrográfica urbanizada, com suporte das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento:** apresentação de dois cenários em um módulo piloto. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos São Paulo. nov. 2007.

MORUZZI, R.B. et al. **Efeito da ocupação urbana e de obras de drenagem sobre o hidrograma de cheia de uma bacia urbanizada: O caso da Bacia do Córrego da Servidão em Rio Claro, SP.** Revista de Engenharia e Tecnologia ISSN 2176-7270. V. 1, nº. 1, dez. 2009, p.1-12. Disponível em: <http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/33428_4266.PDF>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MURA, R. Chuva forte gera alagamentos em Rio Claro e São Carlos, SP; confira fotos. **G1 – globo.com.** 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2017/02/chuva-forte-gera-alagamentos-em-rio-claro-e-sao-carlos-sp-confira-fotos.html>>/ Acesso em: 1 jun. 2018.

MURAKAMI, M.; ALMEIDA, M. **Decisão Estratégica em TI: Um estudo de caso.** 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

NOVAES, E. **Diagnóstico dos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Rio Claro: Prefeitura de Rio Claro. 2014. Disponível em: < http://www.rioclaro.sp.gov.br/ps/arquivos/Parte_09_Diagnostico_Drenagem.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2018.

PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista.** 1976. Instituto de Geografia - USP. Série Teses e Monografias nº 22, 86 p.

PENTEADO-ORELLANA, M. M. Estudo Geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). In: **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, n.42, p. 23-56, 1981.

PINHEIRO, A. Enchente e inundação. In: SANTOS, R.F. dos. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

POWER, D. J. **Decision Support Systems Glossary**, 2006. Disponível em: <<http://DSSResources.COM/glossary/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

PRADO, H. do; OLIVEIRA, J.B. de; ALMEIDA, C.L.F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**. 1981. Quadricula de São Carlos. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Planmob Rio Claro**, 2016. Disponível em: <<http://www.youblisher.com/p/1356167-PlanMob-Rio-Claro/>>. Acesso em 25 de mar de 2018.

REZENDE, P. S. Construção de modelo e utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico - AHP para mapeamento de risco à inundação em área urbana. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 01-18, 2017. Disponível em: <www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/31408/19973>. Acesso em: 17 fev. 2018.

RHINO PISOS. Produtos Rhino-Verde. **Rhino Pisos**. 2018. Disponível em: <http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/3/rhinoverde_piso_grama_concregrama_pavimento_ecologico_permeavel_drenante_concreto>. Acesso em: 18 mai. 2018.

ROMERO, H. Haddad veta obrigatoriedade de novos prédios terem telhado verde. **G1 – globo.com**. 2015. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/telhados-verdes-sao-uma-aposta-bonita-e-sustentavel/>> Acesso em: 9 mai. 2018.

SAATY. T. H. A scaling method form priority in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1977. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5). Acesso em: 13 nov. 2017.

SAATY, T.L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 367 p., 1991.

SAATY, T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SAITO, M. S. **Desastres Naturais: conceitos básicos**. In: Escuela de primavera sobre soluciones espaciales para el manejo de desastres naturales y respuestas de emergencias - inundaciones, n. 1, 2008, Santa Maria. Disponível em: <http://www3.inpe.br/crs/crectalc/pdf/silvia_saito.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2018.

SANCHES, M.C. **Agricultura e Industrialização, Rio Claro Sesquicentenária**. Rio Claro: Museu Histórico e Pedagógico, 1978.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade

Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_para_dados_espaciais/Livro_arcgis93_Total.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017.

SANTOS, J. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**: Mudança do Paradigma nos Sistemas Públicos de Drenagem. 2010. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para avaliação de projetos industriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_1.PDF>. Acesso em: 24 mar. 2018.

SUSDRAIN. **Susdrain**. 2012. Londres. Disponível em: <<http://www.susdrain.org/>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

TOMINAGA, K. L.; **Desastres Naturais**: Por que ocorrem? In: Desastres naturais: conhecer para prevenir / Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosângela do Amaral (orgs.) – São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: Acesso em: 10 fev. 2018.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L., BARROS, M. T. (Coord.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

VASCO, J. R. J. **Sistemas urbanos de drenagem sustentável**. 2016. Dissertação de mestrado - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

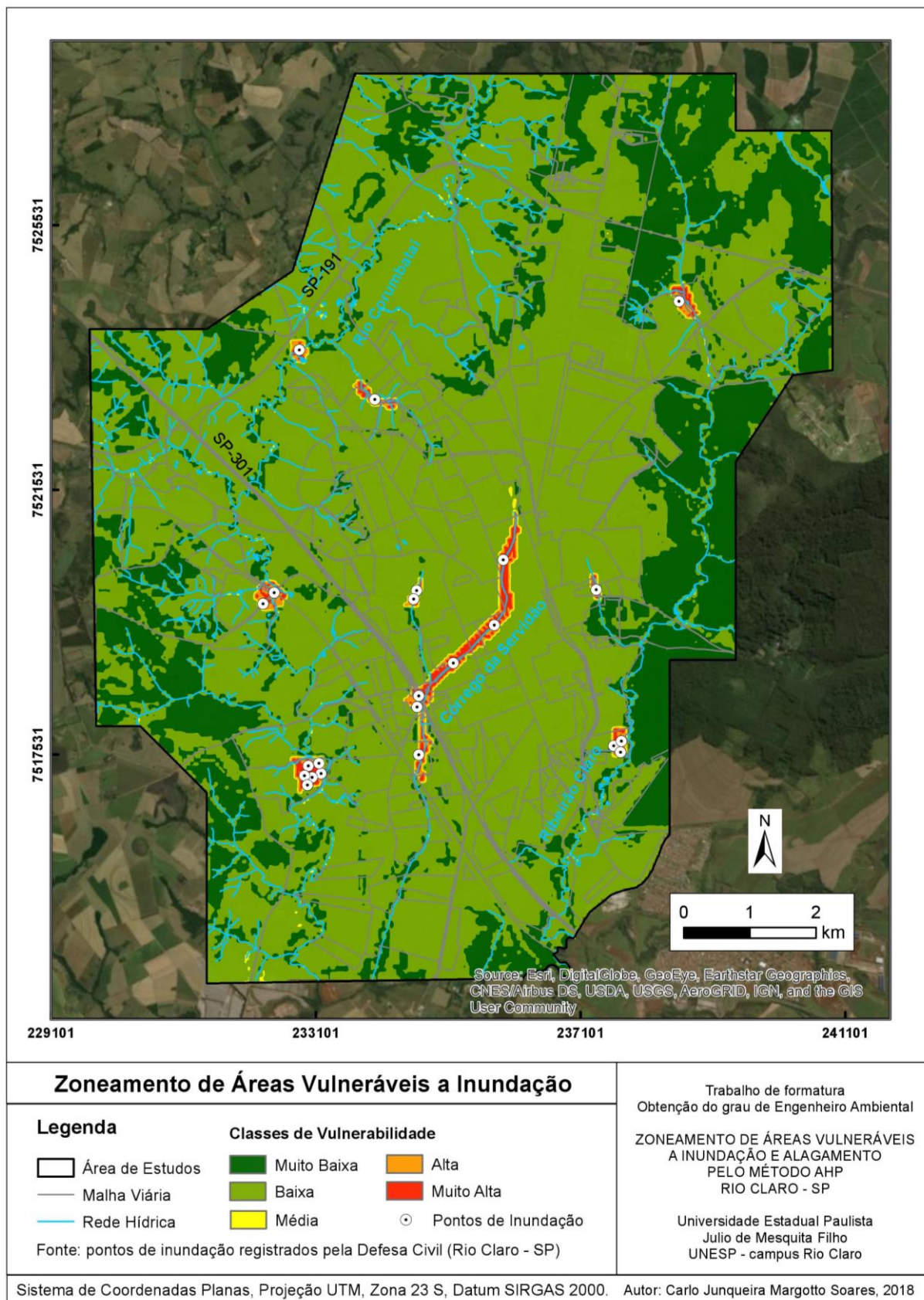
VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP, Rio Claro, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102900>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

ZAINE, J. E. **Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**: Rio Claro: [s.n.], 1994 90 f.

LOPES. J. Julinho Lopes solicita providências para solucionar problema de alagamento na Rua 1-A, no Lago Azul. **Julinho Lopes**. 2017. Disponível em: <http://www.julinholopes.com.br/alagamento-na-rua-1-a-entre-as-avenidas-32-e-36-no-lago-azul-vila-aparecida/>. Acesso em: 1 jun. 2018.

ANEXO I



ANEXO II

