

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM
GEOGRAFIA**

Matheus Rizato

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE
SOCIAL E AMBIENTAL EM ÁREAS DE RISCOS POR EVENTOS HIDROLÓGICOS
E HIDROGEOLÓGICOS: APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ATIBAIA-SP**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Matheus Rizato

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL EM ÁREAS DE RISCOS POR EVENTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS: APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ATIBAIA SP

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Aparecida Zacharias

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio José Sobral da Cunha

Rio Claro – SP
Novembro/2022

R627c

Rizato, Matheus

Contribuição metodológica para a análise da vulnerabilidade social e ambiental em áreas de riscos por eventos hidrológicos e hidrogeológicos: aplicação no município de Atibaia-SP / Matheus Rizato. -- Rio Claro, 2022
200 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Aparecida Zacharias

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio José Sobral da Cunha

1. Desastres naturais. 2. Cartografia. 3. Sistemas de informação geográfica.
4. Análise Fatorial Exploratória. 5. Análise Multicritério. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MATHEUS RIZATO

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE
SOCIAL E AMBIENTAL EM ÁREAS DE RISCOS POR EVENTOS
HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS: APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
ATIBAIA SP**

*Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do Campus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Doutor
em Geografia.*

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Andréa Aparecida Zacharias (Orientadora)
FCTE/UNESP/Ourinhos (SP)

Prof. Dr. Prof. Dr. RAUL REIS AMORIM
IG / UNICAMP/Campinas (SP)

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Silvia Elena Ventorini
UFSJ/São João del-Rei (MG)

Profa. Dra. Daniela Fernanda da Silva Fuzzo
UEMG / Frutal (MG)

Conceito: **Aprovado.**

Rio Claro/SP, 01 de novembro de 2022

A Viagem de um Geógrafo

Deram-me o seu retrato colorido (...)

(...) No ano que passou atravessei lugares extensivos de um vasto território dominado por paisagens impressionadoras.

Por onde estive pensei em você.

Um sentimento desavisado me invadia e tornava-me cada vez mais delicado, terno e humano.

Sensível e olhando para o meu interior, dava-me conta de minha insignificância diante dos homens, das coisas e do mundo.

Contudo, descobria que eu te amava.

A paisagem que ficava para trás anunciava aquela que eu penetrava e, comovido pelos laços que me prendem aos cosmos, revelava-se o que sinto mesmo que você seja apenas uma fotografia: o amor verdadeiro.

(...) Deram-me um pedaço de chão a ser percorrido e vou martelar as rochas dos barrancos sonhando encontrar seu coração.

Wilhelm Relda

Dedico à minha filha Alice que está por chegar...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e sabedoria e por me proporcionar a oportunidade de viver esse sonho.

Á minha família que tanto me apoiou e vibrou comigo em cada etapa de minha vida acadêmica, em especial a minha mãe Valci que sempre dividiu esse sonho comigo. Agradeço o suporte de meu pai Rubinho, minhas irmãs Rubia e Gisele, meus cunhados Gustavo e Daniel e meus sobrinhos Lara, Luísa e Murilo.

Á minha companheira Dra. Juliana Antunes de Azevedo, por todo amor, apoio e paciência em me aguentar durante esse longo processo. Obrigado por incentivar e acreditar em mim, mesmo quando eu mesmo já não acreditava.

Á minha filha Alice, que ainda não nasceu até a conclusão deste trabalho, mas de alguma forma me deu a força que eu precisava nos momentos finais desta etapa. Te amo minha filha.

Á Profa. Dra. Andréa Aparecida Zacharias que nunca poupou esforços em me orientar nessa pesquisa e por acreditar em meu potencial. Nunca vou esquecer do seu exemplo de profissionalismo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Aos parceiros que contribuíram para essa pesquisa, em especial a Franciele Guerra, André Ribeiro, Bruno Zucherato e aos demais membros do grupo de Pesquisa em Geotecnologias e Cartografia Aplicadas à Geografia – GEOCART/CNPq/Brasil.

Aos amigos que a Geografia me deu, em especial Gabriel Bispo, Ricardo Suzuki, Vanessa Neris, Mayra Melo, Gustavo Moraes, Karen Conservani, Paola Cardoso, Gabriel Duque, Mireille Sato, Lucas Marquezini, Kaque Rosante, Tiago Amaral e tantos outros.

Á todos os colaboradores do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (IGCE - UNESP) Campus de Rio Claro pelo apoio aos estudantes de pós-graduação.

Á Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação (FCTE) - UNESP/Câmpus de Ourinhos/SP, onde tive a oportunidade de lecionar durante o estágio de docência.

Aos meus amigos de sempre que nunca me abandonaram e sempre estiveram presentes em toda a minha vida.

À família Pereira e todos os seus agregados por sempre me acolherem como se eu fosse membro da família e em especial a minha afilhada Maria Tereza.

Ao colégio Vivo, em especial a Karina e Daniela San Juan e Alex Souza, por todo apoio e reconhecimento profissional. Também ao imenso suporte de Ana Eduarda e Rafael Marques (Crispin).

Todos os companheiros de trabalho da EIXO-SP pelo apoio emocional e aprendizado nessa etapa final da pesquisa.

E por último e não menos importante, um agradecimento especial a “música” e todas as pessoas que me proporcionaram essa arte em todas as suas formas. Sem a música eu nunca teria forças para seguir nessa caminhada e ter estabilidade emocional para enfrentar todos os desafios da vida.

À todos e todas:

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Os estudos em torno da temática das vulnerabilidades social e ambiental em seus diversos sistemas tem como principal foco a necessidade de buscar o entendimento dos fatores que apontem e potencializem as vulnerabilidades da população e dos sistemas que a integram, além de abordar a capacidade de resiliência desta população. O presente trabalho tem como principal objetivo identificar, avaliar e analisar as vulnerabilidades sociais e ambientais no município de Atibaia (SP), das áreas suscetíveis aos riscos de desastres naturais por eventos hidrológicos (alagamentos, enchentes, enxurradas, inundações) e hidrogeológicos (movimento de massa) através de modelagem de dados do meio físico e socioeconômico. Para este propósito, o trabalho toma como base os 5 (cinco) momentos da proposta metodológica da escola brasileira, apresentada por Rizato *et al.* (2022), a qual propõe que a análise das vulnerabilidades sociais e ambientais integradas a mapas do meio físico, seja baseada em modelagem multicritério, com o intuito de obter uma cartografia das áreas de riscos, onde: **a) primeiro**, aplica-se o índice de Análise Fatorial Exploratória (AFE), visando a Análise de Componentes Principais (ACP), para obter os sínteses de criticidade (C) e o mapa síntese intermediário de capacidade de suporte (CS); **b) segundo**, aplica-se uma modelagem ambiental (álgebra de mapa) no mapa síntese intermediário de CS para a obtenção do mapa final de capacidade de suporte (CS), conforme adaptação apresentada por Rizato (2021) a partir do/da tratamento estatístico, classificação pela média menos o desvio padrão e da técnica de densidade de Kernel; **c) terceiro**, aplica-se o agrupamento (método natural break de Jenks), a reclassificação das classes de vulnerabilidades (muito alta a muito baixa) e a elaboração do Mapa da Vulnerabilidade Social Ambiental (VSA); **d) quarto**, adota-se os métodos de Álgebra de mapas baseados na Análise Multicritério à Decisão (AMD) e integração dos dados pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP), para a elaboração dos Mapas Sínteses, por meio de auxílio de análises espaciais, em ambiente SIG e; **e) quinto**, a partir da Síntese gerada pelas inferências espaciais da AMD e AHP, adota-se as considerações da proposta metodológica de Cartografia de Síntese apresentada por Zacharias; Ventorini (2021), que qualificam a “adequada legibilidade da representação das informações espaciais, em estudos que envolvem paisagem x planejamento x riscos/impactos, pelas dimensões gráfica no plano (x, y, z, t), associados à representação de suas diferentes leituras: a leitura vertical (escalas taxômicas do fenômeno geográfico) e a leitura horizontal (diferentes componentes e elementos geográficos que modificam o ambiente na paisagem). Ao final, pode-se propor mapas sínteses inventariados em cartografias: a) de reconhecimento - a Cartografia Ambiental de Síntese -, composta pelo reconhecimento de 08 (oito) áreas com maior e menor vulnerabilidade social e ambiental, inseridas no ambiente da paisagem urbana de Atibaia/SP/Brasil, que são suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos e; b) de detalhamento, para a escala local, onde as oito áreas, foram (re)nomeadas em 8 (oito) cenário de “A” a “H”, com as leituras verticais e horizontais, como forma de auxiliar as políticas públicas municipais com inventários e diagnósticos, cujas legendas descritivas e propositivas subsidiam o ordenamento territorial em áreas de potencial desequilíbrio ambiental e que necessitam de monitoramento frente ao avanço urbano.

Palavras-chave: Desastres Naturais. Cartografia de Síntese. Modelagem Cartográfica Ambiental. Análise Multicritério. Análise Fatorial Exploratória

ABSTRACT

The studies surrounding the theme social and environmental vulnerabilities in its diverse systems have as main focus the necessity to search for the understanding of factors that point out and potentialize the population and systems vulnerabilities, and also the capacity of resilience of the population. The present study has as main objective to identify, evaluate and analyze the social and environmental vulnerabilities of Atibaia (SP), its susceptible areas to natural disasters caused by hydrological events (floods) and hydrogeological (mass movement) through physical and socioeconomical data modeling. For this purpose, the study takes 5 moments of the Brazilian school methodology, presented by Rizato *et al.* (2022), which proposes the integrated analyses of social and environmental vulnerabilities to maps of the physical environment, based on multicriteria modelling, with the purpose of obtaining risk areas cartography, where: **a) first**, the Exploratory Factorial Analysis (EFA) is applied, aiming the Principal Component Analysis (PCA), to obtain criticality syntheses (C) and the intermediary synthesis map of support capacity (SC); **b) second**, an environmental modelling (map algebra) is applied in the intermediary synthesis map of SC to obtain a final version the support capacity (SC) map, according to the adaptation presented by Rizato (2021) from the statistical treatment, classified by the average minus the standard deviation and the Kernel density technique; **c) third**, grouping (jenks natural breaks method) is applied, the reclassification of vulnerabilities classes (very high and very low) and the elaboration of the Social Environmental Vulnerability Map (SEV); **d) fourth**, methods of map algebra area adopted based on Multicriteria Decision Analysis (MDA) and data integration by the Hierarchical Analytical Process (HAP) to elaborate the Syntheses Maps, with the help of spatial analyses, in GIS environment and; **e) fifth**, from the Synthesis generated by spatial inferences of the MDA and HAP, considerations of the methodological Synthesis Cartography presented by Zacharias; Ventorini (2021) are adopted, in which qualify the “adequate readability of the representation of spatial information, in studies that involve landscape vs. planning vs. risks/impacts, by graphic dimensions in layout (x, y, z, t), associated to the representation of its different readings: vertical reading (taxonomic scales of the geographical phenomenon) and the horizontal reading (different components and geographical elements that modify the environment in the landscape). At the end, it can be proposed syntheses maps inventoried in cartography: a) recognition of - Environmental Synthesis Cartography - , composed by the recognition of 8 (eight) areas with higher and lower social and environmental vulnerability, inserted in the environment of the urban landscape of Atibaia/SP/Brazil, that are susceptible to hydrological and hydrogeological risks, and; b) the detailing, to the local scale, where the eight areas, were renamed in 8 (eight) scenarios from “A” to “H”, with its vertical and horizontal readings, as a way to help public policy with inventories and diagnoses, in which its descriptive and propositional labels subsidize the territorial ordering in areas of potential environmental imbalance and that need monitoring due to the urban advance.

Key words: Natural Disaster; Synthesis Cartography; Environmental Cartography Modelling, Multicriteria Analyses; Exploratory Factorial Analyses

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Métodos de Cartografia de Síntese (1º Grupo), segundo Martineli e Queiroz (2007).....	37
Quadro 2 - Evolução da Densidade demográfica e Taxa de Urbanização de Atibaia 1950/2020	48
Quadro 3 - Classes Temáticas do Mapa da Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra – ano 2013.....	55
Quadro 4 - Classes temáticas do Mapa da Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra	57
Quadro 5 - Critérios de classificação de Criticidade	76
Quadro 6 - Critérios de classificação de Capacidade de Suporte	77
Quadro 7 - Classificação da AHP	83
Quadro 8 - Registros de ocorrências de eventos potencialmente causadores de desastres.....	107
Quadro 9 - Setorização das Áreas com Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações do município de Atibaia/SP	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis selecionadas para a composição dos dados de vulnerabilidade de Atibaia/SP	67
Tabela 2 - Valores de Comunalidades para a Criticidade.....	71
Tabela 3 -Tabela de Variância Explicada	72
Tabela 4 - Matriz de Componentes Rotativa.....	74
Tabela 5 - Mapas e Influências Utilizadas para Álgebra de Mapas de Capacidade de Suporte	80
Tabela 6 - Matriz de Julgamento.....	83
Tabela 7 - Índices aleatórios em matrizes para AHP.....	85
Tabela 8 - Matriz de Julgamento para a Modelagem das áreas de vulnerabilidade social e ambiental	85
Tabela 9 - Influências e Pesos para a Integração dos Dados – Álgebra de Mapas...	87
Tabela 10 - Registros de eventos potencialmente causadores de desastres por mês	112
Tabela 11 - Percentual das classes de vulnerabilidades Social e Ambiental.....	131
Tabela 12 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental	132
Tabela 13 - Matriz normalizada para o cálculo do vetor de prioridade	135
Tabela 14 - Distribuição Espacial da Vulnerabilidade Social e Ambiental (AMD e AHP) e Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental	141
Tabela 15 - Critérios para obtenção das estruturas horizontais na cartografia de Síntese.....	147
Tabela 16 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário A	152
Tabela 17 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental Cenário A	152
Tabela 18 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário B	156
Tabela 19 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental Cenário B	157

Tabela 20 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário C	161
Tabela 21 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário C.....	161
Tabela 22 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário D	165
Tabela 23 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário D.....	165
Tabela 24 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário E	170
Tabela 25 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário E.....	170
Tabela 26 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário F	174
Tabela 27 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário F.....	175
Tabela 28 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário G.....	179
Tabela 29 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário G.....	179

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As Escolas influenciadoras da AFE para o estudo das vulnerabilidades sociais e ambientais	19
Figura 2 - Modelo Conceitual do Risco	27
Figura 3 - Esquema dos procedimentos necessários para a Análise Fatorial Exploratória.....	34
Figura 4 - Concepção teórica do processo de cartografia de síntese baseada em ...	36
Figura 5 - Proposta Metodológica – Cenário Gráfico e Visual da Cartografia de Síntese de acordo com as Estruturas Verticais e Horizontais do Ambiente na Paisagem	44
Figura 6 - Localização do município de Atibaia-SP	47
Figura 7 - Fluxograma com os Procedimentos Metodológicos da Pesquisa	52
Figura 8 - Mosaico de fotografias aéreas do Município de Atibaia/SP	56
Figura 9 - Escala de prioridade de busca de informações.....	62
Figura 10 - Setores Censitários do Município de Atibaia/SP.....	66
Figura 11 - Gráfico de Escarpa	73
Figura 12 - Concepção Teórica da Álgebra de Mapas.....	81
Figura 13 - Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra - 2009	91
Figura 14 - Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra - 2013	92
Figura 15 - Mapa Hipsométrico	94
Figura 16 - Mapa de Declividade	95
Figura 17 - Mapa de Hidrografia	97
Figura 18 - Mapa das unidades de conservação	100
Figura 19 - Mapa de Equipamentos Urbanos 1	103
Figura 20 - Mapa de Equipamentos Urbanos 2.....	104
Figura 21 - Mapa de Equipamentos Urbanos 3.....	105
Figura 22 - Compilação do número de registros de eventos potencialmente causadores de desastres durante o período estudado (2000 – 2020)	111
Figura 23 - Distribuição dos registros de eventos potencialmente causadores de desastre durante o período estudado (2000 -2020).....	112

Figura 24 - Compilação, por mês, dos registros de eventos potencialmente causadores de desastres.....	113
Figura 25 - Precipitação mensal acumulada em mm de Atibaia/SP dos anos de 2011 a 2020.....	114
Figura 26 - Vazão média em m ³ do Rio Atibaia em 2019.....	115
Figura 27 - Ocupação em área de risco de inundação (1) e de deslizamento (2) em Atibaia/SP.....	115
Figura 28 - Mapa de Ocupação em Áreas propícias a Alagamento.....	116
Figura 29 - Localização das áreas de risco a movimentos de massa, erosões e inundações.....	123
Figura 30 - Áreas de risco no mapa de altimetria e declividade.....	124
Figura 31 - Mapa de Criticidade.....	126
Figura 32 - Mapa de Capacidade de Suporte pelos dados do Censo/IBGE.....	128
Figura 33 - Mapa de Capacidade de Suporte.....	130
Figura 34 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental.....	133
Figura 35 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental por Imóveis.....	134
Figura 36 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental pelo método AMD e AHP.....	138
Figura 37 - Vulnerabilidade Social e Ambiental (AMD e AHP) por imóveis.....	142
Figura 38 - Cartografia Ambiental de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental.....	144
Figura 39 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário A.....	149
Figura 40 - Registro Iconográfico - Cenário A.....	150
Figura 41 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário B.....	154
Figura 42 - Registro Iconográfico - Cenário B.....	155
Figura 43 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário C.....	158
Figura 44 - Registro Iconográfico - Cenário C.....	159
Figura 45 - Registro Iconográfico - Cenário D.....	162
Figura 46 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário D.....	163

Figura 47 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário E.....	167
Figura 48 - Registro Iconográfico - Cenário E.....	168
Figura 49 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário F.....	172
Figura 50 - Registro Iconográfico - Cenário F.....	173
Figura 51 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário G.....	176
Figura 52 - Registro Iconográfico - Cenário G.....	177
Figura 53 - Registro Iconográfico - Cenário H.....	180

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
2	OBJETIVOS	23
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1.	Desastres Naturais, Riscos e Vulnerabilidade	25
3.2.	Evolução das metodologias para o Estudo das Vulnerabilidades: A Análise Fatorial Exploratória (AFE)	30
3.3.	A Cartografia de Síntese no Estudo das Vulnerabilidade Social e Ambiental 35	
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
5	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS	50
5.1.	Levantamento de dados.....	53
5.2.	Elaboração de mapas temáticos.....	54
5.2.1.	Mapeamento da Cobertura Vegetal e do Uso Ocupação e Cobertura da Terra	54
5.2.2.	Mapa Hipsométrico	58
5.2.3.	Mapeamento da Hidrografia.....	59
5.2.4.	Mapeamento das Áreas de Proteção Ambiental.....	60
5.2.5.	Mapeamento dos Equipamentos Urbanos.....	60
5.2.6.	Mapeamento das ocorrências de Desastres de Inundação e de Movimento de Massa	62
5.3.	Mapeamento da Vulnerabilidade Social e Ambiental.....	64
5.3.1.	Identificação dos setores, coleta e seleção de dados do Censo Demográfico 64	
5.3.2.	Criticidade	69
5.3.3.	Capacidade de Suporte	76
5.3.3.1.	Processamento dos dados do Censo para Capacidade de Suporte.....	76
5.3.3.2.	Álgebra de Mapas.....	77

5.3.4. Mapeamento das vulnerabilidades social e ambiental.....	81
5.4. Álgebra de Mapas por Análise Multicritério à Decisão (AMD) e Integração dos dados pelo Processo Analítico Hierárquico – (AHP).....	82
5.5. Elaboração do Cenário Gráfico da Cartografia de Síntese e as Estruturas Verticais e Horizontais do Ambiente na Paisagem Urbana.....	88
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
6.1. Mapas temáticos.....	88
6.1.1. Mapas de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra	89
6.1.2. Mapas Hipsométrico e de Declividade.....	93
6.1.3. Mapas de Hidrografia.....	96
6.1.4. Mapas das Áreas de Proteção Ambiental.....	98
6.1.5. Mapas dos Equipamentos Urbanos.....	101
6.2. Análise das ocorrências de desastres de inundação e de movimento e/ou deslizamentos de massa.....	106
6.2.1. Setorização de Áreas de Risco (CPRM).....	117
6.3. Mapeamento da Vulnerabilidade Social e Ambiental.....	125
6.3.1. Mapa de Criticidade.....	125
6.3.2. Mapa de Capacidade de Suporte.....	127
6.3.3. Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental.....	131
6.4. Validação da Álgebra de Mapas por Análise Multicritério à Decisão (AMD) e Integração dos dados pelo Processo Analítico Hierárquico – (AHP).....	135
6.5. A Cartografia Ambiental de Síntese e as áreas com VSA suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos.....	143
6.4.1 A Cartografia de Síntese com as Estruturas Verticais e Horizontais da Paisagem e o Estado Ambiental das Áreas de VSA.....	145
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	181
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	185
ANEXOS.....	196

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Pesquisas que abordam a temática das vulnerabilidades social e ambiental em seus diversos sistemas tem se tornado cada vez mais relevantes no Brasil, nas últimas décadas. Estes estudos, se baseiam na necessidade de buscar o entendimento dos fatores que apontem e identifiquem as vulnerabilidades da população e dos sistemas que a integram, além de abordar a capacidade de resiliência desta população, bem como as potenciais medidas que o poder público deve tomar para mitigar estes danos.

Para Freitas *et al.* (2012), os estudos relacionados as vulnerabilidades sociais e ambientais são frequentemente abordadas, principalmente após essa temática ser eleita e incluída como uma das principais, pelo Secretariado da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, realizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, no ano de 2012.

Destarte ao supracitado, de maneira geral, a intensificação da abordagem deste tema, também, está atrelada ao aumento da população urbana ao longo do desenvolvimento do país. De acordo com Alves (2006), a partir da segunda metade do século XX, durante o processo de urbanização, que ocorreu o surgimento e o crescimento de diversos tipos de riscos que acabaram por potencializar as vulnerabilidades sociais e ambientais nas cidades, principalmente em regiões periféricas.

Dentre os problemas urbanos, pode-se destacar a ocupação irregular e predatória da terra urbana, que geralmente ocorre em áreas de risco e proteção ambiental, tais como as margens dos cursos de água. Estas localidades, em alguns casos, possuem ocupações precárias de uso habitacional pela população de baixa renda devido a absoluta falta de alternativas habitacionais, seja via mercado privado, seja via políticas públicas sociais (MARICATO, 1996).

Este tipo de ocupação, principalmente em áreas onde existem maiores fragilidades ambientais, ocorrem em regiões periféricas dentro do perímetro urbano, que apresentam certa precariedade de equipamentos urbanos. Isto ocasiona diversos tipos de impactos ao meio natural como o desmatamento em áreas de encostas, a impermeabilização do solo, além da instalação de moradias, em muitos casos irregulares em áreas de cursos de água. Este fato acarreta a exposição desta população em situações de risco e vulnerável a desastres.

Diante dessas constatações, fica evidente que os eventos hidrológicos, possibilitados pelas chuvas, somado a urbanização desordenada, principalmente pela ocupação em áreas próximas aos cursos de água, são os principais motivos da ocorrência de desastres, ocasionando assim em vulnerabilidades pela população afetada. Para Valêncio *et al.* (2004), esse tipo de desastre pela ação da água, ocorre por ações individuais e coletivas e pelas falhas dos tomadores de decisão, sendo necessário um planejamento urbano que objetive a redução da vulnerabilidade humana. Ainda, para os mesmos autores (op. cit.), torna-se necessária a criação de uma interação entre especialistas e a população, na forma da percepção do risco, para que a redução da vulnerabilidade seja efetivamente alcançada.

Com este desafio, a percepção do risco visando a redução das vulnerabilidades, que surgiram os estudos com Estratégias de Redução de Riscos de Desastre (RPD), a partir do “desenvolvimento de políticas, estratégias e práticas voltadas à minimização de vulnerabilidades e dos riscos de desastres” (TWIGG, 2009, p.8), cujas ações trazem como principal diretriz a redução das vulnerabilidades em relação aos desastres e à abordagem de assuntos sobre o ambiente e outras ameaças e perigosidades que os desencadeiam, bem como demais aspectos da resiliência.

Para que isto ocorra, são necessários que se intensifiquem os estudos envolvendo análises ambientais utilizando técnicas de mapeamento de vulnerabilidades sociais e ambientais, em áreas suscetíveis aos riscos, a fim de identificar os principais problemas enfrentados por áreas de riscos e buscar alternativas para mitigar estes problemas e reduzir as fragilidades destas populações residentes nestas localidades.

Neste caso, a Medida Provisória para o Sistema Nacional de Defesa Civil, transformada na Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres, onde determina a identificação de áreas de risco como obrigatória para o planejamento municipal. Também, autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres e, organiza as competências dos órgãos governamentais e dos entes federativos no âmbito do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), ficando a cargo do município mapear e fiscalizar as áreas de risco e de desastres, além de vedar novas ocupações nessas áreas (BRASIL, 2012).

Neste sentido, Reani *et al.*, destacam que:

[...] como forma de pensar e planejar a cidade, essas políticas corroboram com importantes alterações nas Leis para a escala municipal, por meio do Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/01) e da Lei de Parcelamento do Solo (Lei Federal nº 6.766/79), os quais passam a ter novas diretrizes compostas de ações que incorporam a questão das áreas de risco e população exposta ao risco de desastres [...] são essas novas Políticas Urbanas, representadas, principalmente, por meio do Plano Diretor, que passam a definir áreas de riscos coibindo a ocupação e o loteamento dessas áreas, uma parte da iniciativa necessária para prevenir e minimizar os desastres, além de promover a criação de cidades mais resilientes (REANI *et. al.*, 2020, p. 119-121).

Nessa premissa, o monitoramento das áreas de desastres tem como principal ferramenta as geotecnologias que; através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dos produtos de sensoriamento remoto produzidos por satélites, aeronaves tripuladas e Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs); têm auxiliado os estudos sobre esta temática permitindo, por um lado uma espacialização mais detalhada dos dados obtidos e, por outro o auxílio no desenvolvimento de metodologias de mapeamento e de diagnóstico de áreas de risco, apontando e monitorando as vulnerabilidades, para auxiliar as tomadas de decisões do poder público a fim de reduzir os altos danos causados às populações afetadas.

Desde então, as chamadas ciências cindínicas (LOURENÇO, 2004 p. 7), ganha destaque com a metodologia desenvolvida por Cutter (1996), em seus estudos realizados nos E.U.A., trazendo um certo pioneirismo na interpretação do conceito de vulnerabilidade, na medida em que busca uma perspectiva racional e experimental para definir, descrever, explicar e prever os danos – causados por eventos que podem causar prejuízos a um indivíduo, comunidade, estrutura ou objeto – , além de identificar seus pontos frágeis. E, para isso, classifica o conceito de vulnerabilidade em três grandes grupos de concepções, sendo: **(1)** a vulnerabilidade como uma condição preexistente; **(2)** a vulnerabilidade como reação atenuada; e **(3)** a vulnerabilidade como a perigosidade dos lugares.

A partir da premissa sobre a compreensão geográfica nos estudos do risco dos lugares, buscando entender as relações sistêmicas e, indissociáveis, entre sociedade *versus* natureza, para o entendimento dos diferentes ambientes que compõe a paisagem, que em 2003, os autores Cutter *et al.* (2003) apresentam a Análise Fatorial Exploratória (AFE) como uma técnica matemático-estatística, que possibilita a inclusão de diversas variáveis para a mensuração dos dados que representariam os

aspectos gerais da vulnerabilidade, a partir de duas principais “forças” que interferem na mensuração da vulnerabilidade dos lugares, a partir da (a) Criticidade (C), que leva em conta as características e os comportamentos das pessoas na contribuição para a ruptura do sistema e da; (b) Capacidade de Suporte (CS), que trata das características e comportamentos que permitem à comunidade reagir em casos de desastre.

Desde então, vários trabalhos científicos foram aprimorados pelas abordagens de diferentes escolas, utilizando a AFE para o estudo das vulnerabilidades sociais e ambientais, comprovando o seu potencial quando no uso dessa temática em específico, sem descartar as adaptações metodológicas (RIZATO, et al., 2021). A Figura 1, traz uma linha do tempo com as principais pesquisas realizadas até o momento.

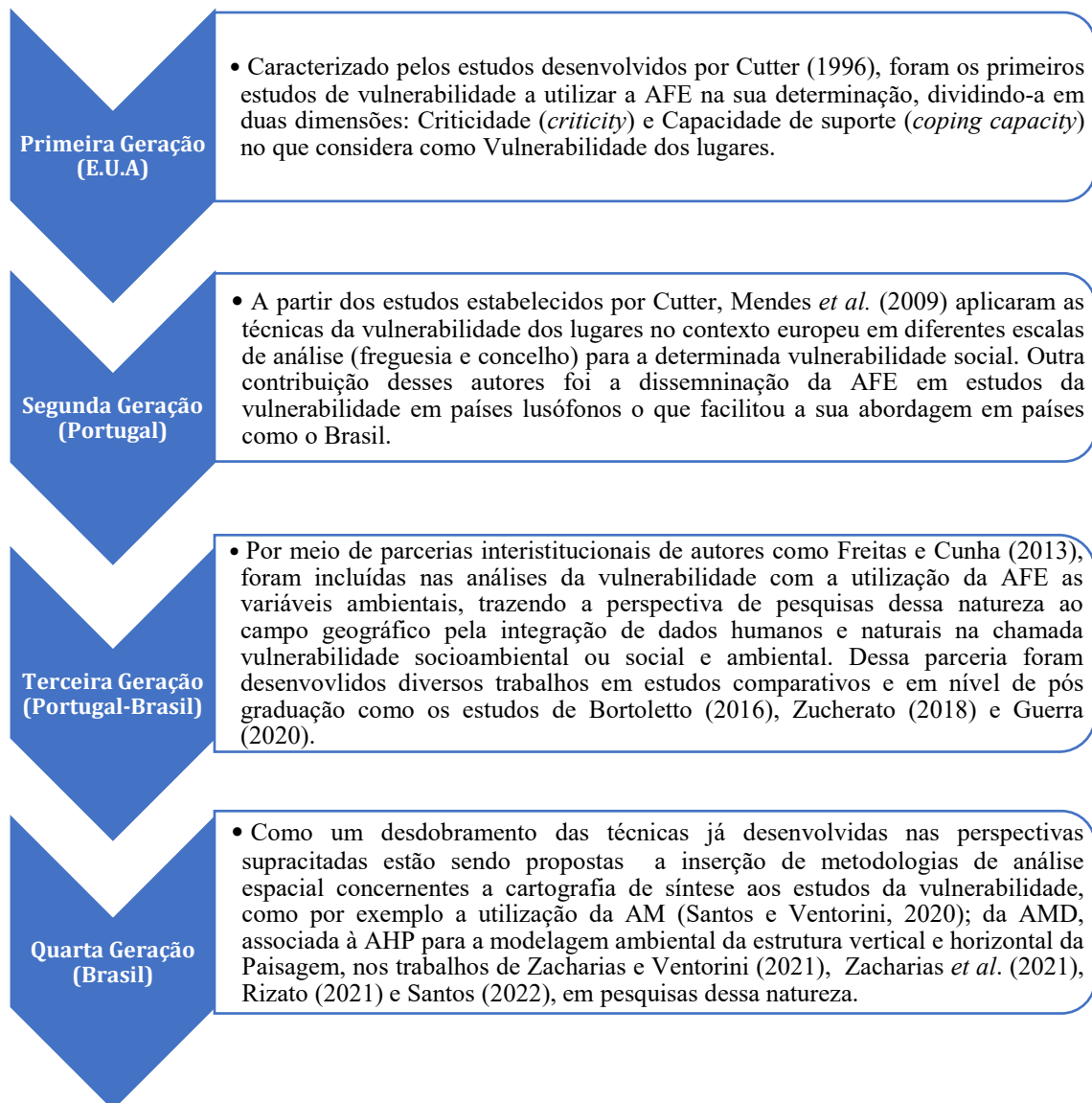


Figura 1 - As Escolas influenciadoras da AFE para o estudo das vulnerabilidades sociais e ambientais

Fonte: Rizato et. al. (2022)

Diante dos avanços teóricos com as escolas supracitadas é possível perceber que, a partir de 2021, há uma consolidação metodológica brasileira de uso e aplicação da AFE, em conjunto com a técnica da AMD e AHP, em estudos de vulnerabilidade, a partir de pesquisas de mestrados e doutorados realizadas pelos integrantes do Grupo de Pesquisa em Geotecnologias e Cartografia aplicadas à Geografia (GEOCART/CNPq/Brasil), com o objetivo de identificar, avaliar e analisar as vulnerabilidades sociais e ambientais em alguns municípios brasileiros, frente aos riscos de desastres naturais por eventos hidrológicos (alagamentos, inundações e enxurradas) e hidrogeológicos (movimento e/ou deslizamentos de massa), por meio

de modelagem cartográfica ambiental de dados do meio físico e socioeconômico, considerando os **cinco momentos**, apresentados por Rizato *et al.* (2022), que são indissociáveis entre si:

(1) **primeiro**, aplica-se o índice de Análise Fatorial Exploratória (AFE), tomando como base a proposta Luso-Brasileira apresentada por Freitas; Cunha (2013); Bortoletto (2016); Zucherato (2018) e Guerra (2020), visando a Análise de Componentes Principais (ACP)¹ através do cruzamento dos *scores* de cada setor censitário ponderados pelo peso explicativo de cada um dos fatores para obter o mapa final síntese de criticidade (C) e o mapa síntese intermediário de capacidade de suporte (CS);

(2) **segundo**, aplica-se uma modelagem ambiental (álgebra de mapa) no mapa síntese intermediário de CS para a obtenção do mapa final de capacidade de suporte (CS), conforme proposta adaptação divulgada por Rizato (2021); Rizato *et al.* (2022), a partir do/da:

a) tratamento estatístico, extraído da matriz de correlação resultante de análise estatística do conjunto de variáveis de interesse;

b) classificação pela média menos o desvio padrão, que mostra quanto o valor de atributo da feição varia a partir da média ajudando a enfatizar valores acima e abaixo da média e, por último;

c) técnica de densidade de Kernel, pelo método de transformação das informações vetoriais em informações matriciais;

(3) **terceiro**, aplica-se o agrupamento (método natural break de Jenks do SIG), a reclassificação das 5 classes de vulnerabilidades (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) e a elaboração do Mapa da Vulnerabilidade Social Ambiental (VSA);

(4) **quarto**, aplica-se uma segunda modelagem cartográfica ambiental aos padrões espaciais do Mapa de VSA, tendo como fundamentação metodológica os princípios da Análise Multicritério à Decisão (AMD), associada à Análise

¹ Os componentes principais são um conjunto de variáveis, organizadas segundo as categorias: demografia, habitação, educação, infraestrutura, idade, renda, etnia, e investimento ambiental. Assim, torna-se uma etapa fundamental para a tomada de decisões por apresentar os principais fatores extraídos da matriz de correlação resultante de análise estatística de um conjunto de variáveis de interesse.

Hierárquica de Processos (AHP), apresentados por Saaty (2005, 2006); Santos, Ventorini (2017); Hoang, Tran e Nguyen (2020); Ogato *et al.*, (2020), Zacharias *et al.* (2021), Santos (2022) e Rizato (2022) dentre outros que utilizam a ADM e AHP, em ambientes de SIG, para elaboração de cartografia de síntese de áreas propícias a desastres naturais por eventos hidrológicos (inundações, alagamentos e enchentes) e hidrogeológicos (movimento e/ou deslizamentos de massa);

(5) **quinto**, a partir do Mapa Síntese do Mapa de VSA gerado pela álgebra de mapas e a inferência espacial da técnica AMD-AHP, aplica-se as considerações da inédita proposta metodológica de Cartografia de Síntese apresentada recentemente por Zacharias e Ventorini (2021), que qualificam a “adequada legibilidade da representação das informações espaciais em estudos que envolvem paisagem x planejamento x riscos/impactos” pelas dimensões gráfica no plano (x, y, z, t), associados à representação das suas diferentes estruturas/leituras: a estrutura vertical (escalas taxonômicas do fenômeno geográfico) e a estrutura horizontal (diferentes componentes e elementos geográficos que modificam o ambiente na paisagem).

Na tentativa de expandir as formas de análise da vulnerabilidade, os pesquisadores do GEOCART/CNPq/Brasil seguem em buscas metodologias que possam modelar os elementos e fenômenos socioambientais, para o melhor entendimento da dinâmica dos diferentes ambientes inseridos na paisagem, de forma que possibilitem o diagnóstico e o inventário de áreas suscetíveis aos riscos socioambientais, na escala local. E, para o bom conhecimento dessa relação sistêmica na paisagem e dos riscos a ela associada, pelo olhar da Geografia, tem como seu principal modo de reconhecimento espacial, a cartografia e seus métodos e técnicas de representação espacial que traduzem pela espacialização o comportamento dessa interação (RIZATO, *et al.*, 2022).

Pensando nisso, a busca de representação espacial, na escala local, que Zacharias e Ventorini (2021) apresentam uma proposta metodológica inédita, das publicadas no meio científico, voltada à sistematização de uma Cartografia de Síntese que represente o ambiente e o comportamento dinâmico da paisagem, a partir do agrupamento das informações obedecendo as diferentes estruturas da paisagem (vertical e horizontal), em um mesmo documento gráfico, para que a representação cartográfica síntese do ambiente forneça as informações mais

próximas dos diferentes elementos que é visto e observado na realidade (ZACHARIAS; VENTORINI, 2021; ZACHARIAS, 2022).

Face ao exposto, sintetizadas pelas constatações aqui relatadas, esta Tese permitiu formular as hipóteses que foram pesquisadas, refletidas e desenvolvidas, ao longo deste trabalho, ao propor que:

a) a metodologia baseada em análise exploratória e de abordagem utilizando metodologias cartográficas multicritério, em função de sua flexibilidade quando aplicado aos estudos que envolvem a análise das vulnerabilidades sociais e ambientais municipais, apontam caminhos para a identificação dos problemas e, conseqüentemente, para a implementação de propostas voltadas às tomadas de decisões pelo poder público municipal;

b) a proposta de adaptação da metodologia Luso-Brasileira, pela escola brasileira, recentemente divulgada no meio acadêmico brasileiro, apresenta procedimentos técnico-metodológicos capazes de traduzirem a análise das vulnerabilidades sociais e ambientais, de forma integrada (físico, sociais e suas inter-relações), baseados em modelagem multicritério, para obter, identificar e especializar pela Cartografia de Síntese as das áreas de riscos;

c) somente através do agrupamento das informações nas diferentes estruturas da paisagem (vertical e horizontal) em um mesmo documento é que a representação cartográfica síntese do ambiente fornecerá as informações mais próximas dos diferentes elementos que são vistos e observados na realidade. E, para isto, ela deverá ser transcrita de maneira sistematizada e ordenada visualmente segundo os diferentes níveis de leitura compostos por suas estruturas verticais e horizontais, representados no plano bidimensional do espaço geográfico, conforme proposta metodológica de Zacharias e Ventorini (2021).

d) esta metodologia poderá ser utilizada em diferentes regiões do país, a fim de auxiliar na elaboração de políticas públicas para o ordenamento territorial. Assim, é possível a detecção de pontos sensíveis as vulnerabilidades sociais e ambientais, e buscar formas de monitorar e solucionar estes problemas.

E, para entender sobre as hipóteses mencionadas, este trabalho foi dividido em etapas que visam investigar e discutir os diferentes pontos do processo de análise das Vulnerabilidades Sociais e Ambientais no Município de Atibaia-SP.

Assim, no *tópico (1)* apresenta-se as **considerações iniciais**, onde versam as principais ideias que levaram ao desenvolvimento da proposta do tema. Num segundo momento, no *tópico (2)* são apresentados os **objetivos** (gerais e específicos). No terceiro momento (*tópico 3*), apresenta-se a **fundamentação teórica**, que visa apontar e discutir principais conceitos teóricos que nortearam essa pesquisa tanto do ponto de vista das vulnerabilidades sociais e ambientais quanto ao uso de tecnologias e ferramentas aplicadas. Em seguida, no *tópico (4)* é realizada uma breve apresentação da **área de estudo**, onde este trabalho foi aplicado para logo em seguida ser discutido os procedimentos metodológicos aplicados para atingir o objetivo proposto. Após, no *tópico (5)* são apresentados os cinco momentos da metodologia brasileira, dentre os principais métodos se destacam a Análise Fatorial Exploratória (AFE), a álgebra de mapas, a análise multicritério AMD e AHP e a cartografia de síntese com sua proposta de visualização de paisagem através de estruturas verticais e horizontais. No *tópico (6)*, são discutidos os **resultados obtidos**, além de uma reflexão sobre as técnicas utilizadas. E, por fim, no *tópico (7)* são apresentadas as considerações finais da pesquisa, refletindo acerca dos principais pontos abordados, durante todo o seu desenvolvimento, além de apontar os pontos positivos e negativos quanto a sua aplicabilidade

2 OBJETIVOS |

É **objetivo geral** deste trabalho apresentar uma proposta metodológica que viabilize o estudo sobre a vulnerabilidade social e ambiental, tendo como área de estudo o município de Atibaia/SP. Assim, busca-se identificar e representar espacialmente as áreas suscetíveis aos riscos de desastres naturais por eventos hidrológicos (alagamentos, enchentes, enxurradas, inundações) e hidrogeológicos (movimento de massa)², através de técnicas estatísticas exploratórias, geração de produtos cartográficos e da modelagem multicritério (AMD e AHP) de dados do meio

² Vale destacar que, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – Cobrade (2012) os riscos hidrológicos e hidrogeológicos estão atrelados a eventos e alagamentos, enchentes, enxurradas, inundações e movimento de massa, além da erosão, respectivamente.

físico e socioeconômico, destacando as localidades com maior e menor probabilidades de ocorrências desses desastres naturais.

E, para atingir este contexto, são os objetivos específicos deste trabalho:

(i) Avaliar os indicadores físicos, socioeconômicos, demográficos e ambientais preponderantes no aumento e/ou diminuição das vulnerabilidades social e ambiental;

(ii) Avaliar se a metodologia aqui empregada através de análises estatísticas (modelo Análise Fatorial Exploratória) e espaciais (elaboração de álgebra de mapas) com foco na dimensão física, socioeconômica, demográfica e ambiental das áreas de risco de desastres é um modelo eficiente para a caracterização das áreas mais e menos vulneráveis no município;

(iii) apresentar a álgebra de mapas e a integração de dados, em ambiente SIG, por meio da modelagem cartográfica ambiental, pelos métodos da Análise Multicritério à Decisão (AMD) e Processo Analítico Hierárquico (AHP), para obter a cartografia de síntese das áreas de Vulnerabilidade Ambiental e Social (VSA), visando o inventário de paisagens urbanas suscetíveis aos riscos hidrológicos (alagamentos, inundação e enxurradas) e hidrogeológicos (movimentos de massas);

(iv) espacializar, através do Mapa Síntese Ambiental, o reconhecimento das áreas de Vulnerabilidades Sociais e Ambientais (VSA), com maior e menor, suscetibilidades aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos na paisagem da área de estudo;

(v) elaborar e analisar o cenário gráfico das Cartografias de Sínteses, identificando os diferentes estados ambientais, a partir do detalhamento dos Setores "A a F" da área de estudo, considerando as dimensões (x,y,x,t) e as estruturas verticais (escalas taxonômicas) e horizontais (componentes e elementos geográficos) da paisagem urbana; como métodos de detalhamento, na escala local, cujas legendas descritivas e propositivas possam contribuir para a identificação do desequilíbrio ambiental no contexto urbano.

(vi) avaliar e documentar os pontos positivos e negativos, desta metodologia de pesquisa;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dentre os principais conceitos que fundamentam essa pesquisa, é necessária uma análise linear que a norteie de forma clara e objetiva visando uma reflexão direta dos principais pontos aqui abordados. Dentre eles, destacam-se os relativos à análise dos conceitos de desastres naturais, riscos e vulnerabilidade. Além disso, também se deve abordar os conceitos teóricos referentes às tecnologias e métodos aplicados para o alcance aos objetivos propostos. Partindo deste pressuposto, a seguir abordam-se os principais pontos que fundamentam esse trabalho.

3.1. Desastres Naturais, Riscos e Vulnerabilidade

Inicialmente, para se discutir o conceito de risco e vulnerabilidade, faz-se necessário entender a definição de desastres naturais. Assim, esse termo parte da premissa de que um determinado fenômeno natural como um tornado, movimento e/ou deslizamentos de massa, enchentes ou um terremoto, esteja afetando uma determinada região em um dado momento gerando uma situação de perigo. Sob uma abordagem etimológica, o desastre natural (natural hazards) é entendido como um fenômeno natural que atinge áreas habitadas pelo homem, causando-lhe danos catastróficos.

Para Lieber e Romano (2002), o conceito de desastre se aplica na premissa de fenômenos caracterizados por danos relativos “às condições favoráveis à vida”. Estes acontecimentos expressam, a falta de intencionalidade no acontecimento deste desastre. Quanto às causas do acontecimento de um desastre, essas não podem ser entendidas apenas por elas mesmas, pois cada situação só pode ser entendida levando-se em conta as suas relações com as demais.

O desastre natural é entendido como consequência do acontecimento de um evento, por vezes, natural (hazard) no sistema socioeconômico, com um determinado nível de vulnerabilidade, onde os agentes afetados lidem de forma adequada com esse acontecimento e criando medidas para a sua prevenção (GONÇALVES, 2012).

Desta forma, considera-se que os desastres naturais estão diretamente ligados ao conceito de risco, onde pela temática principal abordada neste trabalho, é primordial que o seu conceito epistemológico seja abordado conforme a premissa de o termo representar a probabilidade de que um evento – esperado ou não esperado –

se torne realidade. Nessa premissa, a possibilidade de que algo pode vir a ocorrer, já então configura um risco (DAGNINO e CARPI JÚNIOR, 2007).

O risco de um desastre é interpretado como a probabilidade de acontecimentos deste tipo de evento e suas consequências. Assim, é entendido em função da natureza do perigo, acessibilidade ou via de contato (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), probabilidade de ocorrência e magnitude das consequências. (AMARO, 2005).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) em seu escritório para a redução de desastres (UNISDR, 2017), risco é entendido como a probabilidade de consequências nocivas ou perdas esperadas. Entre os exemplos citados, o risco é caracterizado quando existe a possibilidade da ocorrência de mortes, feridos, propriedades atingidas, comprometimento ou paralização de setores econômicos e outros. Este risco é resultante das interações entre processos perigosos naturais ou causados por intervenções humanas. No caso das ações humanas, os riscos costumam ser considerados quando existe a possibilidade de perdas de vida.

Conforme Beck, (2011); Mendes, (2015); Veyret, (2015) o risco pode ser considerado como algo associado a um conceito social que está em constante alteração na medida em que as sociedades evoluem e se diferem no tempo e no espaço. Assim, para a compreensão de uma determinada situação de risco há necessidade do entendimento destes aspectos espaciais e temporais.

Outro importante conceito de risco a ser considerado é a ideia defendida por Wisner et al. (2004), de que o risco é o resultado da soma da perigosidade e da vulnerabilidade Figura 2. Neste caso, observa-se uma quantificação do risco onde estes componentes combinados determina o grau da intensidade do risco de determinado evento. Essa mesma premissa de que o risco é o resultado da soma de perigosidade e vulnerabilidade também são abordados por Cunha e Dimuccio (2001); Cunha e Leal, (2012); Freitas, Ramos e Cunha (2013). Assim, a divisão do risco entre a perigosidade e a vulnerabilidade incute o seu conceito dentro da perspectiva geográfica, uma vez que a variação espacial será determinante para o estabelecimento de ambos os termos sobre os quais o risco é composto (GUERRA, 2010).

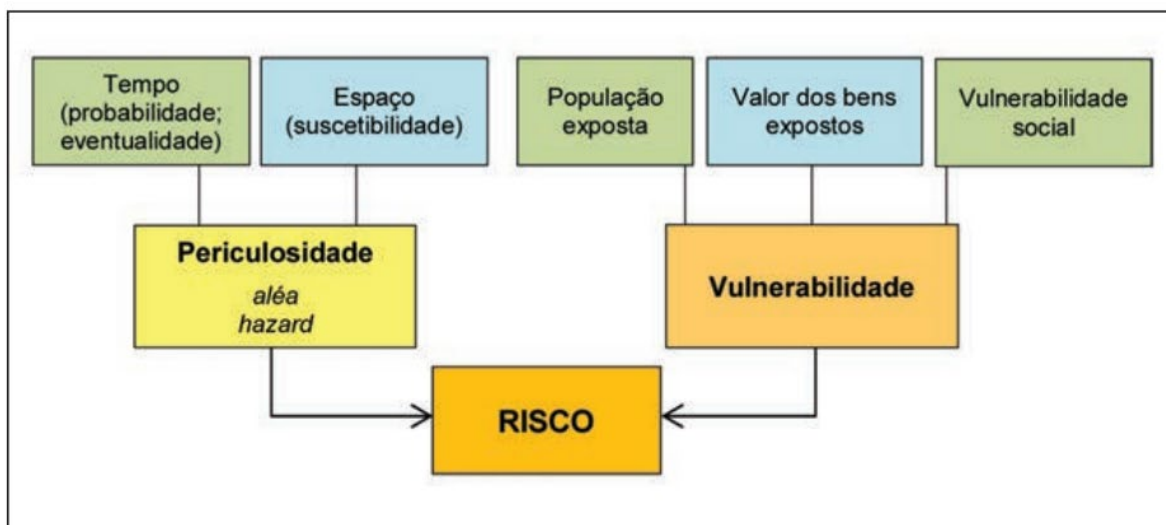


Figura 2 - Modelo Conceitual do Risco
Fonte: CUNHA e RAMOS (2013)

Dentro da temática das vulnerabilidades sociais e ambientais em eventos hidrológicos (enchentes, alagamentos, enxurradas, inundações) e hidrogeológicos (movimentos de massa), o risco, assume como característica de Cunha (2011), que o define como eventos que podem ser naturais, tecnológicos ou mistos e podem ser definidos pela articulação da chamada perigosidade com a vulnerabilidade. Desse modo, consiste numa correspondência entre os processos perigosos e a sociedade afetada com sua cultura e economia em determinado tempo e espaço.

O conceito de periculosidade está relacionado a possibilidade de ocorrência de um processo ou ação com potencial destruidor e ocorrência de danos com certa severidade em um determinado tempo e local (CUNHA; RAMOS, 2013). Sendo assim, entende-se por periculosidade um acontecimento de origem físico e material do risco e está relacionado a localização no tempo e no espaço, onde está atrelado ao fato de onde e quando um determinado evento incerto pode acontecer. Já o conceito de vulnerabilidade, está vinculado aos aspectos humanos do risco, onde busca-se a identificação de características da população afetada que podem sofrer e reagir de formas diferentes ao risco, conforme sua condição social e sua localização (ZUCHERATO, 2018).

Nesta lógica, entende-se que o conceito de vulnerabilidade possui como princípios a proposta de Cutter et al. (2003), que apresenta o termo com certa complexidade, na qual se abordam questões sociais, econômicas, políticas e culturais. Para esses autores, a vulnerabilidade acaba por ser um conceito epistemológico de

“potencial para a perda”, ou seja, representa situações, onde a população se encontra em locais de risco perante um determinado perigo. É uma análise das capacidades de uma localidade se preparar, responder e recuperar de desastres em uma escala social, natural e artificial. Ainda na mesma linha dos autores, o tema vulnerabilidade auxilia no entendimento que acontecimento similar pode produzir uma gama de impactos diferentes nas zonas envolventes. Além disso, estes acontecimentos fornecem instrumentos que permitam o entendimento dos fatores sociais que interferem na natureza e no ambiente construído, redistribuindo o risco anterior a um acontecimento e, os prejuízos após ele.

[...] A vulnerabilidade aos desastres descreve o grau de suscetibilidade de um sistema socioeconómico ao impacto de eventos destrutivos, o qual é determinado por uma combinação de determinados fatores que incluem o alerta precoce (e preparação), condições prévias e comportamento humano e das infraestruturas, consciência (tipo de conhecimento) do hazard, administração e políticas públicas e capacidade de organização em todos os campos de administração de desastres. A pobreza, como condição social, é também uma das principais causas da vulnerabilidade na maior parte dos países do mundo. [...]. GONÇALVES. 2012, p. 6.

Em suma, Cutter, (1996), classifica o conceito de vulnerabilidade em três grupos. O primeiro aborda a “vulnerabilidade como uma condição preexistente”, onde fundamenta-se que as condições que colocam as pessoas em situação de vulnerabilidade estão atreladas na relação de como essa população ocupa os lugares. Também é mensurado o grau ou potencial para perdas e prejuízos associados com os riscos identificados que podem ser mensurados pela sua magnitude, pela duração dos impactos, pela frequência e a rapidez que caracterizam a exposição de uma comunidade ou indivíduo em risco.

O segundo grupo é denominado “vulnerabilidade como reação atenuada”, que se concentra na capacidade dos indivíduos em responder a situações em caso de risco. De forma geral, está atrelada a capacidade de uma população em enfrentar estes acontecimentos, além da sua capacidade de recuperação. Estudos sobre o comportamento das populações afetadas por desastres detectam que os indivíduos e as comunidades resilientes criam mecanismos e comportamentos de adaptação aos ambientes adversos se tornando mais ativos e socialmente responsáveis. Por último, o terceiro grupo chamado “vulnerabilidade dos lugares”, consiste na integração entre os dois primeiros em que a relação entre a sociedade, natureza e o ambiente permitem

interpretar a vulnerabilidade como o conjunto de processos de natureza ambiental e humana capazes de gerar subsídios para as comunidades enfrentarem os eventos (CUTTER, 1996).

Mendes et al. (2009) também seguem a mesma linha para a definição do termo de vulnerabilidade. Para os autores, a vulnerabilidade é representada como o nível de resiliência e resistência que as pessoas possuem quando enfrentam situações de risco. Assim, estes autores definem que para avaliar o nível de vulnerabilidade social de determinada localidade é preciso considerar e mensurar a sua criticidade e capacidade de suporte.

[...] Neste contexto, o conceito de criticidade é entendido como o conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que podem contribuir para a ruptura do sistema e dos recursos das comunidades que lhes permitem responder ou lidar com cenários catastróficos. No entanto, o sistema territorial possui igualmente um conjunto de recursos que permitem enfrentar uma eventual crise. Neste sentido, a par da criticidade, considera-se necessário contemplar aquilo que foi denominado de capacidade de suporte, ou seja, o conjunto de infraestruturas territoriais que permitem à comunidade reagir em caso de desastre ou catástrofe. O conceito de vulnerabilidade social é, assim, definido como o nível de resiliência ou resistência dos indivíduos e comunidades quando expostos a processos ou acontecimentos danosos e resulta da conjugação da criticidade e da capacidade de suporte. [...]. MENDES et al. 2009, p. 101.

Desta forma, segundo Cunha e Ramos (2013), enquanto a criticidade está relacionada a resistência das comunidades, a capacidade de suporte tem a ver com a resiliência ou capacidade de recuperação de um local após a ocorrência de um evento perigoso. Para sintetizar os valores de vulnerabilidade social e ambiental é necessário a análise e combinação de elementos estatísticos diversos (demografia, economia, educação, saúde, cultura, organização social, infraestruturas territoriais etc.). Pelo exposto, para que se consiga uma melhor visualização da vulnerabilidade de uma determinada localidade, é necessário que se obtenha dados suficientes para que se possa mensurar a criticidade e a capacidade de suporte, a fim de permitir que se tenha uma melhor análise das áreas mais e menos vulneráveis do ponto de vista social e ambiental.

Para isso, é necessário o uso de metodologias estatísticas que permitam a análise exploratória dessas informações a fim de se obter os índices de vulnerabilidade.

3.2. Evolução das metodologias para o Estudo das Vulnerabilidades: A Análise Fatorial Exploratória (AFE)

Dentre as técnicas para a obtenção da vulnerabilidade social e ambiental prevalente destaca-se o método da Análise Fatorial Exploratória (AFE). Este termo, segundo Brown, (2006) é definido por um conjunto de técnicas estatísticas multivariadas utilizadas para a definição da estrutura subjacente em uma matriz de dados, onde procura determinar o número e a natureza das variáveis latentes, representadas pelos fatores que melhor representam um conjunto de variáveis observadas. Em outras palavras, a AFE consiste em uma técnica que permite a transformação de uma série de dados em um grupo menor, sendo possível a sua simplificação para o melhor entendimento de um determinado fenômeno.

Este tipo de análise ocorre devido ao avanço dos recursos tecnológicos computacionais, que permitiram um incremento para as análises estatísticas; sem essas ferramentas, seria improvável analisar um alto volume de variáveis de forma conjunta (HONGYU, 2018).

Em pesquisas relacionadas o uso da AFE, é fundamental o entendimento por parte do pesquisador sobre a localidade a ser estudada, dessa forma, a tomada de decisão do pesquisador para se chegar a uma estrutura fatorial adequada é facilitada, pois a probabilidade de o risco acontecer é complexa fazendo-se necessário buscar os principais motivos que levam a sua ocorrência. Uma vez que ocorra uma escolha equivocada das variáveis que irão fazer parte do modelo final, todo o resultado pode ser comprometido. Assim, segundo Damásio (2012), todas as decisões tomadas pelo pesquisador em uma AFE devem ser baseadas em critérios teóricos e metodológicos de acordo com o tipo de análise que se deseja obter em cada tipo de pesquisa.

Diante deste quadro, o pesquisador enfrenta dois problemas, que podem ser solucionados por meio da AFE: a) “a caracterização dos avaliados, levando-se em conta um conjunto eventualmente grande de variáveis, e b) a descrição da inter-relação dessas variáveis, eventualmente explicitando uma estrutura de interdependência subjacente aos dados.” (HAIR et al., 2009. p.1.).

Para a temática aqui abordada, que é representada pela análise da vulnerabilidade, a AFE se faz necessária, pois esse método, dentro desta abordagem

apresenta grande complexidade envolvendo temas que necessitem a contextualização histórica e espacial de cada localidade estudada. Por isso, a definição de variáveis por esse modelo não pode ser considerada a realidade absoluta, dando um caráter exploratório que permite uma maior discussão e interpretação do pesquisador (ZUCHERATO, 2021).

Em pesquisas realizadas por Cutter et al. (2003) como tema as vulnerabilidades sociais e ambientais a Análise Fatorial Exploratória foi utilizada para identificar variáveis de interesse. Assim, as variáveis utilizadas permitiram uma análise em que as mais relevantes ao objeto de estudo se sobressaem às demais. De forma geral, neste trabalho, para os autores, a vulnerabilidade consiste em uma dimensão complexa de mensuração onde deve-se chegar a valores de Criticidade (C) relacionado as características e os comportamentos das pessoas na contribuição para a ruptura do sistema e; Capacidade de Suporte (CS): que trata das características e comportamentos que permitem à comunidade reagir em casos de desastre (Rizato et al. 2022)

Seguindo a mesma temática, Mendes et al. (2009), definiram a capacidade de suporte e a criticidade para diferentes escalas, municipal e freguesia, no âmbito do território de Portugal. Assim, após a análise estatística, os autores puderam transpor os valores de criticidade e capacidade de suporte e representá-los de forma espacial por meio do SIG, o que permitiu a obtenção do mapa de vulnerabilidade social e ambiental. Ainda segundo esses autores, os resultados se mostraram satisfatórios para a área estudada, contudo é preciso considerar que a metodologia deve ser adaptada de acordo com a realidade do lugar que ela será aplicada.

Ainda seguindo a metodologia de AFE, mas desta vez aplicando em outras localidades, destaca-se as análises realizadas em parceria entre Portugal (Universidade de Coimbra) e Brasil (Universidade Estadual Paulista – UNESP), por Freitas e Cunha, 2013; Bortoletto, 2016; Zucherato, 2018; Guerra, 2020) e Cabo Verde (Monteiro, Freire e Cunha, 2016).

Isto posto, Freitas; Cunha (2013), realizaram uma análise das vulnerabilidades sociais e ambientais utilizando algoritmos estatísticos e representados por meio de SIG. Este estudo teve como principal base os dados socioeconômicos de 20

municípios localizados no Estado de São Paulo e 17 *concelhos*³ da Região Central de Portugal. Como resultado, foi possível localizar e representar por meio de produtos cartográficos as principais áreas de vulnerabilidade destes municípios. Para a região analisada em Portugal os dados cartográficos indicaram que os principais fatores de vulnerabilidade social foram o baixo dinamismo econômico, a queda da população infanto-juvenil e o êxodo rural. Já no Brasil, os principais motivos foram o baixo desenvolvimento econômico da população afetada e ausência de equipamentos urbanos.

Bortoletto (2016), utilizou a mesma metodologia para analisar as vulnerabilidades social e ambiental integradas a mapas do meio físico, com o intuito de gerar mapas síntese de áreas de risco de desastres no município de Caraguatatuba/SP por meio de SIG. Em sua pesquisa, a autora concluiu que há uma correspondência direta entre a localização das pessoas e dos lugares vulneráveis, como também existe a influência de aspectos relativos à condição socioeconômica da população afetada. Além disso, os mapas síntese de riscos e vulnerabilidades, podem oferecer subsídios aos especialistas e gestores do poder público, auxiliando-os nas tomadas de decisões, principalmente, quanto às ações de prevenção de desastres e de planejamento urbano.

Zucherato (2018), contribuiu com a aplicação desta metodologia em duas áreas distintas, o município de Campos do Jordão – SP (Brasil) e o *concelho* da Guarda (Portugal). Assim, a determinação da vulnerabilidade socioambiental teve como técnica a AFE para obtenção das duas dimensões da vulnerabilidade (criticidade e a capacidade de suporte) com a utilização de dados sociais, econômicos e ambientais de origem estatística e espaciais. Como resultado, o autor afirma ter encontrado adequada aplicabilidade à técnica, pois foi possível o estabelecimento dos valores finais da vulnerabilidade, assim como das suas componentes de criticidade e de capacidade de suporte.

Também pelo mesmo viés científico, Guerra (2020), utilizou a AFE para realizar o mapeamento de áreas vulneráveis no município de Bragança Paulista – SP. Este trabalho teve como objetivo, através do uso dos dados censitários, descobrir as

³ subdivisões dos distritos, que correspondem às cidades brasileiras

principais áreas vulneráveis do ponto de vista social e ambiental, em específico as inundações, considerando a atuação dos fatores desencadeantes na área urbana. Assim, foi possível identificar as áreas mais e menos vulneráveis possibilitando uma visão integrada da paisagem com vistas à tomada de medidas mitigadoras por parte do poder público para a gestão municipal.

A partir de então, a aplicação desta metodologia em ambientes tropicais, se tornou cada vez mais recorrente com a inclusão de variáveis de caráter ambiental (Alves, 2006; Freitas e Cunha, 2013; Bortoletto, 2016; Zucherato, 2018; Guerra, 2020), sendo mais difundido com foco na análise da vulnerabilidade social e ambiental apresentando um caráter específico a essa temática levando em conta a mensuração dos elementos físicos e sociais nas diferentes áreas de estudo.

Dos casos aqui explicitados, Zucherato (2021) destaca que a técnica da AFE se fundamenta em um procedimento que envolve 3 grupos metodológicos que abrangem a seleção das variáveis, a análise fatorial e a representação dos dados no ambiente SIG (Figura 3), onde a seleção de variáveis é responsável pela coleta, seleção e organização dos dados utilizados. Já a análise fatorial pode ser relacionada ao método estatístico em si que geram os fatores explicativos para a obtenção dos valores de vulnerabilidades preteridos. Ao passo que, por último, os procedimentos em ambiente SIG permitem uma melhor visualização espacial dos dados obtidos em forma de produtos cartográficos que podem auxiliar na interpretação da área estudada.

Neste último, ainda relacionado ao ambiente SIG, do ponto de vista geográfico, observa-se a necessidade da obtenção de produtos cartográficos para uma melhor visualização dos resultados obtidos. Desta forma, a utilização de diferentes técnicas cartográficas se faz necessária, não somente para a visualização dos dados, mas também para o processamento deles a fim de uma análise final mais completa e de qualidade.

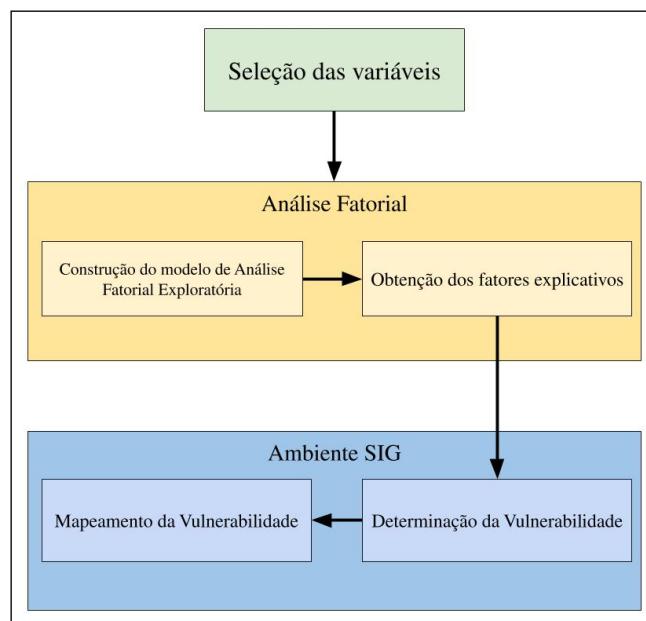


Figura 3 - Esquema dos procedimentos necessários para a Análise Fatorial Exploratória
Fonte: Zucherato (2021)

Diante dos avanços teóricos e dos trabalhos já mencionados, é possível perceber um avanço metodológico para a aplicação da AFE que foi intensificada por partes dos estudos brasileiros, através da utilização do uso do Sistemas de informações geográficas que se mostram como ferramentas poderosas para geração de novas informações que contribuem para a evolução dos estudos de Vulnerabilidade Social e Ambiental.

A partir desta premissa, observam-se várias pesquisas realizadas utilizando novas técnicas para o estudo das vulnerabilidades sociais e ambientais, comprovando o potencial dessa metodologia no uso dessa temática em específico. Assim, novas ferramentas podem ser incorporadas a essa metodologia incrementando os seus resultados.

Pode-se considerar que essas novas adequações metodológicas podem ser chamadas de Cartografia Ambiental de Síntese das Vulnerabilidades, onde é representada como foco principal os estudos do risco tendo como suporte a geração e análise de dados estatísticos de caráter social, cultural e econômico. Dentre estas técnicas aplicadas, destacam-se a obtenção de uma Cartografia de Síntese aliadas a técnicas de Análise Multicritério à decisão (AMD) e Análise Hierárquica de Processos (AHP).

3.3. A Cartografia de Síntese no Estudo das Vulnerabilidade Social e Ambiental

Em evolução aos estudos da vulnerabilidade aplicados no contexto brasileiro é perceptível um aprimoramento metodológico nas propostas iniciais colocadas por Cutter (1996) e, por Mendes *et al.* (2009) na tentativa de expandir as formas de análise da vulnerabilidade, buscando outras técnicas estatísticas e especiais na determinação da vulnerabilidade.

Dentre as diversas técnicas relacionadas, coloca-se como destaque fundamental nessa pesquisa, a cartografia de síntese. Esta forma de representação espacial fundamenta-se em buscar a elaboração de produtos cartográficos, cujos resultados evidenciam correlações entre eventos distintos.

Segundo Zacharias (2006 e 2010) a Cartografia de Síntese propõe o mapa final, comumente chamado de mapa síntese, fruto de uma integração de informações, da reconstrução do todo, onde através das modelagens cartográficas do ambiente (modelagem ambiental), atribui-se pesos hierárquicos de acordo com a importância do fenômeno geográfico na dinâmica da paisagem. Ao final, por uma classificação taxonômica ordenada, as informações gráficas e visuais do mapa são apresentadas junto com as legendas explicativas e propositivas ao planejador, como instrumento e/ou documento cartográfico que subsidia as tomadas de decisões. São estes mapas que indicam as áreas com potencialidades e fragilidades da realidade espacial (ZACHARIAS, 2006, 2010; ZACHARIAS; VENTORINI, 2021).

De acordo com Sampaio (2012), umas das técnicas, pelo método quantitativo, que se destacam na cartografia de Síntese é a chamada Álgebra de Mapas, que se fundamenta na combinação de diferentes variáveis, onde o executor atribui pesos a cada uma delas para que se obtenha dados agrupados a fim de se estabelecer um resultado que facilite a compreensão da realidade geográfica estudada. Assim, a cartografia de síntese, tende a ser o resultado da análise sobreposta de diversos atributos envolvidos em uma realidade geográfica. Do ponto de vista tecnológico, esta análise ocorre, a partir da combinação de múltiplas variáveis, baseados em álgebras de mapas ou de procedimentos operacionalizados, diretamente, sobre bancos de dados, dentro de um ambiente computacional, representado pelos Sistemas de Informação Geográfica, conforme pode ser observado na Figura 4.

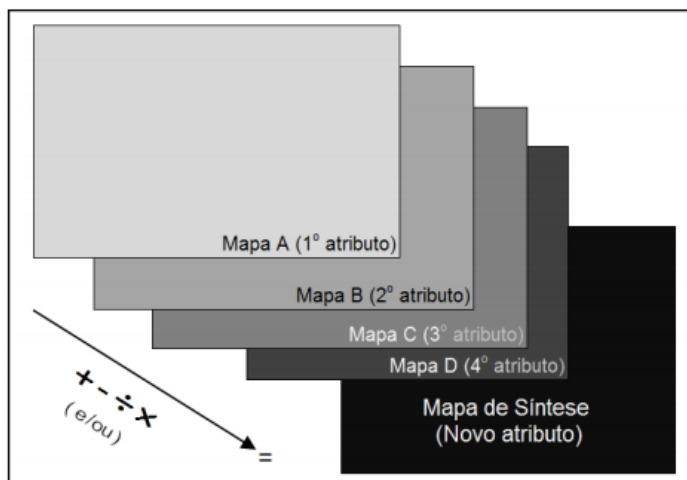


Figura 4 - Concepção teórica do processo de cartografia de síntese baseada em Sampaio (2012)

Fonte: Sampaio (2012)

Contudo, anterior a era computacional, Claval e Wieber (1969) já afirmavam que, em casos em que ocorre a sobreposição de vários temas, o produto final não consegue mostrar, de fato, as suas interrelações podendo não estabelecer um resultado de síntese eficiente. Constatação em que os autores recomendam que: a) a sobreposição de dados ocorra com mapas temáticos simplificados onde é possível obter as melhores relações espaciais e; b) o tratamento e a interpretação dos dados, pelo executor, serão fundamentais para a garantir a qualidade do produto.

Já Queiroz Filho e Martinelli (2007), sobre a Cartografia de Síntese, destacam que:

[...] O Mapa de síntese, assim concebido, torna-se instrumento privilegiado do geógrafo que, na geografia humana, tem interesse nos estudos regionais. Entretanto, ele deve proceder seu uso com prudência, para que não aconteça de se obter configurações que não são as mais características. Atentar, assim, para não privilegiar fatos de ordem estática, nem dar muita importância às áreas homogêneas; ao contrário enfatizar mais os conjuntos funcionais ou polarizados [...]. QUEIROZ FILHO e MARTINELLI, 2007, p.15.

Destacam os autores (op.cit.), que os principais métodos da cartografia de síntese se distribuem em dois grupos, sendo que: a) o primeiro se relaciona aos métodos convencionais que envolvem os métodos gráficos e cartográficos e os métodos estatístico-matemáticos; b) ao passo que, o segundo se baseia aos

procedimentos relacionados aos Sistemas de Informações Geográficas. O Quadro 1, mostra os dois grupos supracitados.

Quadro 1 - Principais Métodos de Cartografia de Síntese (1º Grupo), segundo Martineli e Queiroz (2007)

MÉTODOS DE CARTOGRAFIA DE SÍNTESE		
<u>Métodos Gráficos e Cartográficos</u>		
A obtenção do mapa síntese tem como principal característica o uso de diversificados procedimentos que envolvem: a Superposição tricromática, o Método cartográfico e o Método matricial		
Superposição tricromática	Método Cartográfico	Método Matricial
Ocorre em trabalhar em conjunto de três mapas de diferentes atributos que podem ser sobrepostos em transparências de três cores diferentes. A superposição permitiria delimitar conjuntos espaciais caracterizados por distintas combinações dos três atributos, revelados pelas cores secundárias resultantes	No método cartográfico, a definição é representada primeiramente na obtenção de mapas temáticos com diferentes valores e cores para cada atributo adicionado de forma crescente e cromática. Após esse processo são obtidos os mapas sínteses intermediários definindo um primeiro nível de agrupamento espacial para que sirva de base para se obter a síntese final com os diferentes tipos de espaços	Para os Métodos matriciais, a técnica se baseia na construção de uma tabela de dados onde as colunas são representadas pelos lugares e as linhas os atributos onde seriam marcados a presença ou não de cada classe selecionada. Ao final esta tabela é representada como um quadriculado onde cada célula será preenchida para que se possa visualizar as características que se queira destacar. (Queiroz Filho e Martinelli, 2007).
<u>Métodos Estatísticos-Matemáticos</u>		
A obtenção do mapa síntese baseia-se na utilização de dados geográficos quantitativos, que ao serem submetidos a uma análise multivariada geram produtos que podem ser utilizados na cartografia de síntese. Neste tipo de análise, a quantidade de variáveis costuma ser grande, por isso se faz necessária a utilização de métodos de Análise fatorial (<i>Factor analysis</i>) e da Análise de agrupamento (<i>Cluster analysis</i>).		
Análise fatorial (Factor analysis)	<u>Análise de agrupamento (Cluster analysis)</u>	
A análise fatorial consiste no procedimento em comparar vários mapas temáticos oriundos destes dados quantitativos para que se chegue a um produto de síntese que permita uma análise do espaço geográfico	consiste em um conjunto de técnicas que objetivam identificar e agrupar objetos segundo a similaridade sobre algum atributo ou característica particular que possuem, possibilitando uma melhor análise dos dados e a identificação de padrões de comportamento.	

Fonte: Autor (2022)

Para Lima *et al.* (2014), a análise fatorial tem como função elucidar a variabilidade da população de base através de um determinado número de “fatores” independentes. Já, de acordo com Hair *et al.* (1998), a análise fatorial parte da formulação de um problema, da construção da matriz de correlação, da determinação do método de análise fatorial, da determinação do número de fatores, da rotação dos

fatores, da interpretação dos fatores, do cálculo das cargas fatoriais ou escolha de variáveis substitutas e, determinação do ajuste do modelo. Ao passo que, para Queiroz Filho e Martinelli (2007) ela é utilizada em trabalhos que exigem o estudo de diversas variáveis ao mesmo tempo, assim essa técnica:

[...] parte-se de uma matriz de dupla entrada, que dispõe as unidades geográficas nas colunas e o nome das variáveis nas linhas. Nas células vão os respectivos valores. Calcula-se o índice de correlação (Pearson product moment) entre cada par de variáveis, estabelecendo os resultados numéricos numa matriz, que será simétrica. Em seguida, avalia-se a proporção da variação total em porcentagem entre as variáveis que se acumula em cada fator. Cada fator representa um grupo de variáveis. Mostra-se a seguir, as ponderações de cada uma das variáveis individualmente nos fatores, organizando uma matriz de unidades geográficas por fatores (bastam os dois primeiros). Os resultados desses tratamentos feitos até aqui podem ser visualizados por gráficos ou por mapas adequados a esse fim [...] (QUEIROZ FILHO; MARTINELLI, 2007. p.25).

Já o 2º grupo, que envolvem os Sistemas de Informações Geográficas, Câmara e Medeiros (1998) destacam que são programas computacionais especializados para aquisição, edição, armazenamento, integração, análise e saída de dados espaciais. Nesse sentido, a utilização de suas ferramentas computacionais permite maior dinamicidade e agilidade na elaboração de produtos cartográficos.

No ambiente SIG, pela constante necessidade de integração de dados de diferentes formatos, como imagens, mapas temáticos, modelos matemáticos e outros, se faz necessário a utilização de tecnologias que executem o tratamento simultâneo de dados matriciais (grades e imagens), com dados vetoriais (DAVIS; CÂMARA, 2001).

Assim, para o mapeamento de síntese, o uso dos dados vetoriais e matriciais apresentam, na maioria dos casos, a utilização de modelos conceituais dos fenômenos geográficos chamados de campos ou objetos. De acordo com Barbosa *et al.* (2015), o conceito de: **a) campo** está associado a fenômenos, que variam segundo diferentes atribuições, onde o domínio é uma região geográfica da qual se tem a ideia de uma superfície contínua em que os fenômenos ocorrem conforme sua distribuição. Os campos costumam ser representados por dados matriciais, também existindo a possibilidade de serem representados por vetores; b) já os **objetos** representam um conjunto de dados identificáveis, com localização definida, geometria e características próprias, que costumam ser associados aos dados vetoriais, contudo permitindo também o uso de dados matriciais para a sua representação.

Desta forma, para que se ocorra uma melhor análise dos dados geográficos é preciso trabalhar, dentro da cartografia de síntese, a ideia de campo e objeto, considerando um modelo de tratamento e análise destes dados em conjunto. Queiroz Filho e Martinelli (2007), apontam que as técnicas mais utilizadas para a elaboração de produtos cartográficos de síntese na geografia acabam por ser as técnicas de álgebra de mapas e o tratamento estatístico de dados.

Assim, dentre os procedimentos em ambiente SIG, destaca-se as análises multicritérios que segundo Moura (2007), é um método amplamente difundido, pois é fundamentado na lógica básica do SIG, onde ocorre a seleção inicial de variáveis responsáveis por um fenômeno e, também o recorte metodológico para buscar formas de simplificar sua visualização espacial. Diz a autora (op.cit.) que:

[...] a Análise de Multicritérios é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples Média Ponderada, mas há pesquisadores que já utilizam a lógica Fuzzy para atribuir os pesos e notas. [...] (MOURA, 2007. p.2901).

Atualmente, existem vários operadores de inferência geográfica e espacial para a integração de dados, dentre os quais os métodos de Análise Multicritério à Decisão (AMD) têm sido utilizados para modelar fenômenos inseridos na paisagem e que subsidiam medidas para amenizar os problemas ambientais e urbanos (SANTOS e VENTORINI, 2017ab, 2018; MATERANO e BRITO, 2020; OGATO et al., 2020). O desafio consiste em pensar um método de análise espacial, para a construção de modelos descritivos e hierárquicos de um território e para a integração de variáveis espaciais que não considere a área urbana como homogênea (único polígono), em um mapa de uso da terra, permitindo integrar aspectos do espaço urbano com as classes variadas de mapas temáticos, representando elementos naturais, sociais culturais, econômicos etc.) SANTOS e VENTORINI, 2017ab; 2018; ZACHARIAS et al., 2021).

Nesse sentido, a AMD é utilizada para modelar um fenômeno, a partir de informações disponibilizadas em mapas temáticos (WANG, et al., 2011;

BATHRELLOS et al., 2011; CHOWDARY et al., 2013; GUO et al., 2014; OGATO et al., 2020). Este caminho tem se mostrado apropriada para a tomada de decisões espaciais por permitir relacionar diferentes variáveis socioambientais, dentre elas as informações sobre o uso da terra, a declividade, sistema de drenagem, além de outras informações sobre aspectos naturais e antrópicos de um espaço, por meio da atribuição de pesos (influências)⁴ nos mapas e valores numéricos em suas classes. (GIGOVIC et al., 2009; RIMBA et al., 2017; OGATO et al., 2020; MATERANO e BRITO, 2020).

Partindo desta mesma temática, ainda se destaca entre as principais técnicas de cartografia de síntese e inferência espacial, a Análise Hierárquica de Processos (AHP), cujo método criado por Thomas L. Saaty, na década de 1970, consiste numa metodologia de Análise Multicritério à Decisão (AMD), baseada em SIG, que agrupa pelos menos três grandes vantagens, de acordo com ZACHARIAS e VENTORINI (2021, p. 148), na modelagem do ambiente ao:

- a) facilitar a integração de variáveis, baseada em álgebra de mapas pelas combinações de mapas temáticos com pesos, estabelecendo assim o raciocínio lógico e hierárquico dos padrões espaciais;
- b) ser uma teoria que congrega um raciocínio matemático com lógica quantitativa, sua aplicabilidade, na tomada de decisão, torna-se amplamente eficaz, por viabilizar a sistematização de indicadores socioambientais sobre o ambiente a partir do momento em que as representações computacionais passam a ser os caminhos metodológicos para a atribuição de pesos quantitativos, conforme o grau de importância do indicador socioambiental, visando a análise integrada, bem como a modelagem de seus padrões espaciais;
- c) elaborar modelos matemáticos nos quais a determinação dos pesos atribuídos aos indicadores ambientais, calculados pela matriz de comparação e pareação, torna-se o principal caminho para a elaboração de cenários gráficos (mapas) que avaliam os graus de potencialidades e/ou fragilidades, mais próximos da realidade. São essas análises combinatórias entre os indicadores, geradas por meio de uma ponderação

⁴ Destaca-se que, nesta Tese levam-se em consideração as ponderações de autores Saaty (2005), Gigović et al., 2009, Rimba et al. (2017), Ogato et al. (2020), Materano e Brito (2020), os quais usam a terminologia pesos para atribuir em porcentagens as influências de cada mapa temático, cuja soma de todos devem ser iguais 100%. Assim, a terminologias, pesos e influências convergem para o mesmo sentido.

de valores (pesos) e baseada em álgebra de mapas que indicam as políticas de sustentabilidade na ordenação territorial.

A Análise Hierárquica de Processos (AHP), segundo Saaty (2005, 2006), é baseada na atribuição de pesos, em cada variável representada, pelos planos de informação que determinam a contribuição relativa de cada um. Vale ressaltar que apesar desta técnica indicar as principais variáveis, o autor destaca que o especialista ainda deve definir a hierarquia entre as variáveis e os pesos de cada componente da legenda. Cabe ressaltar que além desse autor, essa técnica também foi utilizada por Gigović et al. (2009); Rahmati et al. (2015); Santos e Ventrini (2017ab, 2018); Hoang et al., (2020); Ogato et al., (2020). Com a evolução dos estudos da vulnerabilidade social e ambiental e social somados ao avanço dos estudos abordando diferentes técnicas relacionadas aos Sistemas de Informação Geográfica, pode-se dizer que surge, também pela escola Brasileira, a preocupação de uma Cartografia Ambiental de Síntese que abarcam métodos matemático-estatísticos, cartográficos espaciais voltados para a análise das vulnerabilidades sociais e ambientais em diversos locais.

Dentre estes trabalhos destaca-se inicialmente o de Santos e Ventrini (2020) que trabalharam uma metodologia a fim de gerar modelos de síntese como apoio ao planejamento e gestão ambiental e urbana na bacia hidrográfica do Córrego do Lenheiro localizada no município de São João del-Rei no estado de Minas Gerais. A metodologia aplicada foi a Análise Multicritério e a Análise Hierárquica de Pesos que puderam gerar quatro modelos representando as áreas suscetíveis a inundação e movimento e/ou deslizamentos. Os resultados foram a criação de mapas que puderam ser confrontados com as informações em campo possibilitando atribuir confiabilidade nas informações mapeadas para a geração dos modelos de sínteses por meio do método da Análise Multicritério.

Outro trabalho relacionado a essa temática é apresentado por Zacharias e Ventrini (2021), onde apresentam o conceito de cartografia de Síntese discutindo métodos que envolvem técnicas que auxiliem na melhor interpretação dos dados obtidos e, que permitam uma melhor ordenação territorial. As autoras propõem uma nova forma de se enxergar o mapa resultando em diferentes técnicas e métodos de representação espacial sobre Cartografia de Síntese através de um novo tratamento gráfico ao mapa a fim de facilitar a visualização e a interpretação das representações ambientais e sociais

Partindo deste conceito, a metodologia de representação espacial voltada para a modelagem cartográfica ambiental, com base na AMD e AHP, para a escala local, apresentada por Zacharias e Ventorini (2021) consideram-se, a perspectiva de propor novos rumos quanto à (re)estruturação dos cenários gráficos sínteses utilizados tanto pela Geografia Física, quanto pelas demais Geociências, apresentando a possibilidade de incluir na legenda explicativa e propositiva do mapa síntese, informações que contemplem a leitura vertical da paisagem (representada pelas das escalas taxômicas, onde ocorre a ordenação da maior para a menor intensidade do fenômeno representado) e a leitura horizontal da paisagem (representadas pelas variações da intensidade do fenômeno representado, pelas interações e dinâmicas influenciadas pelos componentes e atributos geográficos que se inserem no ambiente zonal da paisagem representada), (ZACHARIAS; VENTORINI, 2021, ZACHARIAS, 2022).

E, para isto, as autoras op. cit (p. 141-142) propõe que a Cartografia de Síntese, “ seja transcrita de maneira sistematizada e ordenada visualmente segundo os diferentes níveis de leitura, compostos por suas estruturas verticais e horizontais, representados no plano bidimensional do espaço geográfico segundo as dimensões do real (x, y, z, t)” – Figura 3 – onde, para Zacharias e Ventorini (2021, p. 142-143), a(o):

“a) Estrutura Vertical: deve indicar as unidades espaciais elementares de análise agrupadas pela ordenação da informação espacial do ambiente que compõe a paisagem. Logo, sua hierarquia pode variar pela intensidade do fenômeno geográfico modelado, desde (5) muito alto, (4) alto, (3) médio, (2) baixo ou (1) muito baixo, dependendo da quantidade de classes atribuídas para valorizar verticalmente e gradativamente as diferentes escalas taxonômicas (do maior para o menor) na/da paisagem;

b) Estrutura Horizontal: indica os respectivos atributos ou variáveis que diferenciam as características e os elementos dos componentes geográficos do ambiente na paisagem. Ela surge com a reclassificação da estrutura vertical em classes intermediárias reagrupadas que mostram as diferenças observadas na horizontalidade dos ambientes (ambiental, social e natural) da paisagem. Isso quer dizer que em qualquer escala taxonômica (muito alta a muito baixa) existem diferentes características, muitas vezes individualizadas, frente ao tipo de uso e

cobertura da terra e ao uso e ocupação do solo no sistema ambiental em detrimento das potencialidades e fragilidades ambientais característicos dessa paisagem;

c) Dimensão (x,y) é a própria representação bidimensional do mapa. Aplicada ao mapeamento ambiental, por exemplo, a representação bidimensional restringe-se à transcodificação da paisagem visível do mundo real para a visão horizontal gráfica do mapa, onde as duas dimensões do plano (x e y) ganham destaque pelo componente locacional que exercem quanto à posição longitudinal (x) e latitudinal (y);

d) Dimensão (z) é a informação gráfica do mapa, ou seja, a mancha visual no plano que observado pelos signos representados no cenário gráfico são explorados – gráfica e visualmente – utilizando a propriedade perceptiva ordenada e, considerando o modo de implantação zonal (área) mensuradas pela variável visual cor (cores gradativas);

e) Dimensão (t) são as mudanças espaciais que tanto as estruturas verticais, quanto as horizontais, sofreram no ambiente da paisagem ao longo do tempo, dos quais são visíveis no presente”. Nessa lógica, convém lembrar que:

[...] tempo e espaço, discutidos pela cartografia dinâmica, são dois aspectos fundamentais da existência humana. Tudo à nossa volta está em permanente mudança. O que podemos apreciar à nossa frente no presente é a atualidade em sua dimensão temporal- espacial. Não podemos negligenciar que por trás dessa realidade há uma dinâmica social que produz e reproduz o espaço geográfico, do qual somos parte integrante. Este se relaciona com a história da humanidade [...]. Tradicionalmente, as variações no tempo exploradas pelos mapas ambientais sínteses reportam-se predominantemente às transformações espaciais havidas (parte do uso A da primeira data cede lugar a um novo uso B, na segunda data, sem incluir o fator que motivou tal mudança). Estes mapas são chamados de diacrônicos; referem-se à evolução do uso e revestimento do uso, no qual denominamos como mapa de uso e cobertura da terra ou mapa de uso e ocupação do solo, dependendo da dinâmica em que avaliamos. (Martinelli, 2005, p. 72-75 – grifo nosso)

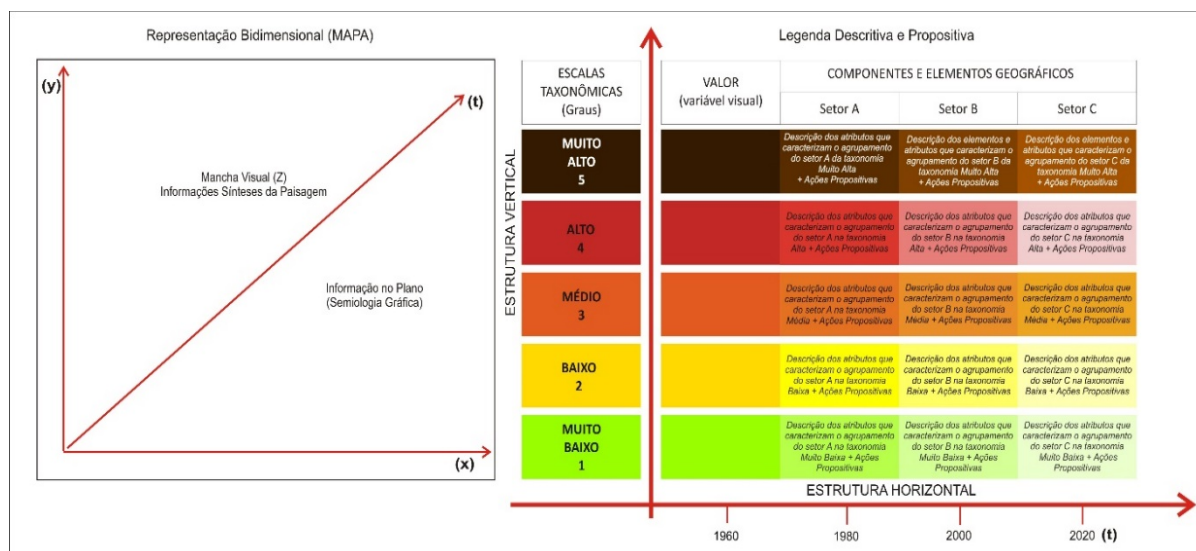


Figura 5 - Proposta Metodológica – Cenário Gráfico e Visual da Cartografia de Síntese de acordo com as Estruturas Verticais e Horizontais do Ambiente na Paisagem

Fonte: Zacharias; Ventorini (2021, p. 142)

Posto o cenário gráfico, as autoras op. cit., ainda destacam:

[...] a necessária remodelagem da dimensão (taxonômica) e da constituição (componentes geográficos) no formato da legenda descritiva e propositiva para um cenário gráfico correto, do que seria uma Cartografia de Síntese, que é fruto da integração dos dados observados a partir do comportamento da dinâmica da paisagem [...]. Na atualidade, ao contrário da proposta metodológica apresentada, o que mais se observa é a elaboração de uma Cartografia de Síntese integradora apenas composta no cenário gráfico pela estrutura vertical da paisagem e com uma legenda que não é descrita e propositiva. As informações da estrutura horizontal, habitualmente, ficam no texto do trabalho acadêmico. No entanto, a Cartografia de Síntese se configura, antes de tudo, como um cenário gráfico e visual da realidade estudada, a qual é susceptível de ordenamentos, classificações e categorizações de áreas supostamente homogêneas, propiciando, assim, condições para as etapas futuras relacionadas ao diagnóstico, monitoramento e prognóstico de medidas mitigadoras do cenário ambiental focado. Esses fatores se tornam indispensáveis para a realização de trabalhos que norteiam propostas voltadas ao planejamento ambiental (ZACHARIAS, VENTORINI, 2021, p. 143).

Desde então, resultados sobre a importância desta Síntese, no entendimento da dinâmica e no estado ambiental da paisagem, podem ser aferidos nos trabalhos, recentemente, publicados por:

a) **Zacharias et. al (2021)**, que tendo como fundamentação teórico-metodológica a AMD e AHP, aplica a proposta metodológica para a Cartografia

de Síntese, considerando as dimensões (x,y,z,t), as estruturas verticais (escalas taxonômicas) e as estruturas horizontais (componentes e atributos geográficos) para a representação espacial da dinâmica da paisagem urbana, assim como a espacialização das áreas com suscetibilidades às inundações a partir de dois cenários gráficos (anos de 1989 e 2020), adotando como recorte espacial o Setor Censitário Colônia do Marçal, localizado no município de São João del-Rei, estado de Minas Gerais, Brasil;

a) **Santos (2022)**, que apresenta a representação cartográfica da suscetibilidade às inundações e alagamentos com base no reconhecimento (a partir da identificação de 8 Zonas de Suscetibilidades aos fenômenos) e no detalhamento, baseadas nas leituras horizontal e vertical, das interações sistêmicas no ambiente na Zona de Suscetibilidade (ZS1), de modo que os resultados contribuíssem para sistematizar propostas metodológicas fundamentadas nos pressupostos da Cartografia Ambiental de Síntese, adotando como recorte espacial a Bacia do Ribeirão Vermelho, localizado no município de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil e;

c) **Rizato (2022)**, que é o trabalho científico pioneiro por reunir as 5 (cinco) etapas da metodologia da escola brasileira, que envolvem complexas análises que traduzem modelagens cartográficas ambientais e matemático-estatísticas, tendo como base os princípios da AFE, ACP, AMD e AHP, além das estruturas verticais e horizontais na síntese dos dados. Assim, seu trabalho identifica, avalia e analisa as vulnerabilidades sociais e ambientais no município de Atibaia, estado de São Paulo, Brasil, frente às suas suscetibilidades aos riscos de desastres naturais por eventos hidrológicos (alagamentos, enchentes, enxurradas, inundações) e hidrogeológicos (movimentos de massa), por meio de modelagem de dados do meio físico e socioeconômico, pelos métodos supracitados para a elaboração dos Mapas Sínteses.

[...] estabelece a classificação das estruturas verticais (taxonomia) e horizontal (características dos componentes geográficos) inseridos no ambiente estudado. O procedimento é feito por meio da discretização, segmentação e estratificação do ambiente da paisagem em unidades territoriais homogêneas. O método consiste em agrupar pontos com características e funções comuns; segmentar os agrupamentos por setores e denominar cada setor segundo as características por meio de inferência espacial para integração dos dados cujos produtos são os mapas sínteses. [...] (Zacharias; Ventorini, 2021. P 128).

Cabe destacar, que os trabalhos supracitados, trazem como maior contribuição a proposta da nova forma de representação cartográfica pelo olhar das estruturas verticais e horizontais representados no plano bidimensional do espaço geográfico segundo as dimensões do real (x, y, z, t). Esta nova forma de análise, busca representar de forma mais real a dinâmica que compõe a paisagem.

Por fim, todas as técnicas aqui abordadas que envolvem os diferentes métodos estatísticos e cartográficos serviram de referência para a fundamentação da metodologia aplicada neste trabalho. De forma geral, as técnicas de Análise Fatorial Exploratória (AFE), a Análise Multicritério de Decisão (AMD) e a Análise Hierárquica de Processo (AHP), assim como os métodos de cartografia de síntese através das estruturas verticais e horizontais foram utilizados para a obtenção dos resultados referentes a análise da Vulnerabilidade Social e Ambiental no Município de Atibaia-SP.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Atibaia/SP (figura 5) está localizado na parte sudeste do Estado de São Paulo entre as latitudes 23°00' e 23°15'S e longitudes 46°25' e 46°45' W. Com uma área total aproximada de 479 km² (IBGE, 2017), o município possui altitude média em torno de 800 metros e faz limite a Norte com Bragança Paulista, a Sul com Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã, a Leste com Piracaia e Bom Jesus dos Perdões e a Oeste com Jarinu e Campo Limpo Paulista (Figura 6).

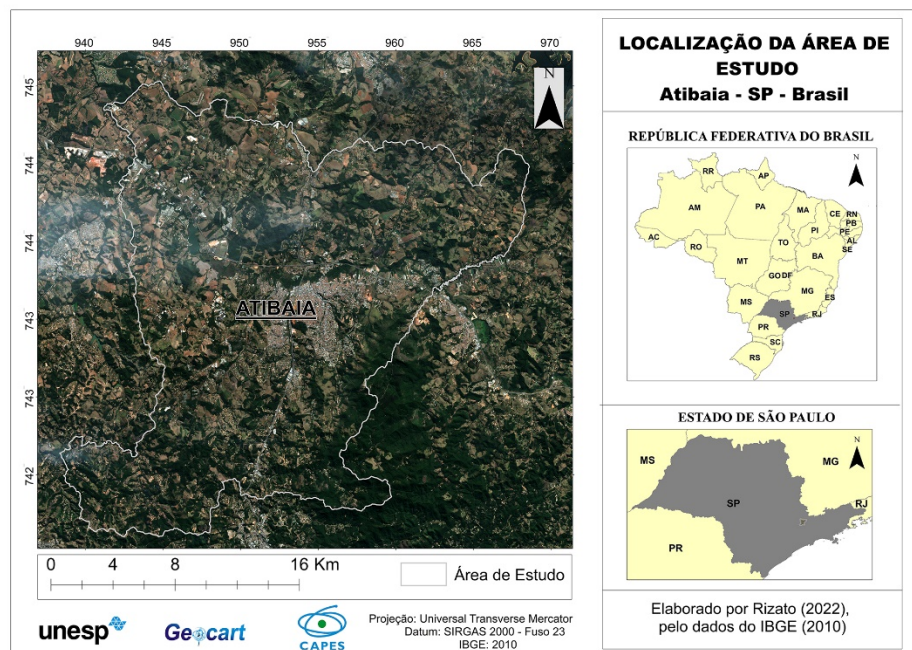


Figura 6 - Localização do município de Atibaia-SP
Fonte: Autor (2022), a partir dos dados do IBGE (2010).

Quanto aos aspectos físicos, o município compõe o **Comitê de Bacias Hidrográficas** do Piracicaba, Capivari e Jundiá – PCJ, cuja área é composta basicamente por rochas ígneas e metamórficas datadas do período pré-cambriano onde, também, se encontram litologias associadas ao Granito Atibaia derivadas do magmatismo relacionado ao orógeno Socorro-Guaxupé; Complexo Varginha-Guaxupé, com a presença da unidade Paragnáissica Migmatítica Superior (CPRM, 2006).

Geomorfologicamente, o município, está inserido na província do Planalto Atlântico, mais especificamente na Unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, onde tem-se a Unidade Morfoestrutural do Planalto Atlântico e Serra da Mantiqueira. De forma geral, as características geomorfológicas apresentam grande diversificação, existindo áreas onde o relevo é suavizado como as áreas próximas as várzeas do rio Atibaia e áreas mais elevadas como é o caso da Serra do Itapetininga. (ROSS e MOROZ, 1997).

Climatologicamente, Atibaia/SP possuiu um clima temperado, segundo a classificação de Köppen. No geral, o clima é influenciado por massas equatoriais e tropicais, uma vez que, a área está presente na zona de influência dos climas regionais tropicais alternadamente secos e úmidos. A média anual de temperatura é

de 19,7°C, variando entre 15,9° C em junho e 22,3° C em fevereiro, sem estação seca definida. A média de precipitação acumulada varia de 36,6 mm em junho a 260,8 mm em janeiro, com um total anual médio de 1509,5 mm. (SILVA, 2000).

A **vegetação** do município, pertence aos domínios da Mata Atlântica, sendo área da formação da Floresta Ombrófila Densa, com ecótipos pertencentes à formação Montana, conforme dados do Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo (SIFESP, 2015).

E, pelas influências de suas características geomorfológicas e climáticas, conforme Oliveira *et al.* (1999), **pedologicamente** predominam os tipos de solos Latossolos, os Argissolos e os Cambissolos

Do ponto de vista demográfico, de acordo com Campos e Carneiro (2015), o município apresentou um forte crescimento populacional, a partir da década de 1960. Essa aceleração se deu pela transformação do perfil do município com empreendimentos voltados para o mercado metropolitano da Grande São Paulo e Baixada Santista. Segundo dados populacionais do IBGE (2020), a população total estimada é de 144.088 habitantes, densidade demográfica de 264,57 hab/ km² e a taxa de urbanização é de 93,21%. O PIB e a renda per capita do município é em média de R\$50.498,62 e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) se apresenta em de 0,765, sendo considerado um valor médio.

Observando a taxa de urbanização de Atibaia/SP, nota-se que apresentou um forte aumento nas últimas décadas, principalmente a partir da década 1970, onde partiu de 55% e, chegou em 2020 a 93,21%. Essa evolução acompanhada pela densidade demográfica do município pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2 - Evolução da Densidade demográfica e Taxa de Urbanização de Atibaia 1950/2020

Ano	Densidade (Hab/ km ²)	Taxa de Urbanização (%)
1950	39	39
1960	48	39
1970	77	55

1980	121	84
1991	199	88
2000	233	87
2007	243	89
2010	264	91
2020	264,57	93,21

Fonte: IBGE, 2020

Todavia, o grande problema do município, segundo Silva (2000), é que seu crescimento populacional não foi acompanhado pela capacidade de ordenamento urbano. Tal fato acarretou conflitos entre os componentes naturais e sociais existentes ocasionando, conseqüentemente, sérios problemas de ordem social e ambiental, os quais necessitam de melhores estudos, para viabilizar propostas voltadas as políticas públicas. Dentre estes problemas, Campos e Carneiro (2015) destacam a ocorrência das enchentes, fenômeno fortemente observado nos anos de 2009 e 2010; conforme a análise dos dados de órgãos públicos, as possíveis causas são: falta de manutenção da calha do rio Atibaia; não abertura das comportas da represa situada no bairro da Usina; ocupação irregular das áreas de várzea do rio; intensas chuvas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro dos anos citados, entre outras.

Ainda segundo os referidos autores, as enchentes ocorridas no município são processos naturais em áreas próximas a corpos de água, mas podem se tornar catastróficos quando nessas localidades, concentrem habitações irregulares principalmente em áreas de várzea.

De acordo com o CPRM (2012), os problemas de inundações constatados em Atibaia/SP, ocorrem devido a duas situações geoambientais distintas: a) as inundações associadas à ampla planície aluvionar do rio Atibaia e; b) as inundações e enxurradas decorrentes dos transbordamentos a que estão sujeitos os córregos afluentes do Atibaia, os quais nascem em terrenos montanhosos e atravessam a parte mais urbanizada da cidade. Essas situações devem ser analisadas e consideradas nas ações de planejamento.

Assim, são necessários estudos que caracterizem os riscos hidrológicos e hidrogeológicos para a implementação de medidas que mitiguem seus efeitos negativos.

5 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Esta pesquisa toma por base caminhos metodológicos quantitativos e qualitativos para a análise do tema proposto. Também, de modo paralelo, se apoia em um inventário de análise de dados secundários, informações e resultados de pesquisas abordando a temática das vulnerabilidades sociais e ambientais, com enfoque principalmente no emprego dos Sistemas de Informação Geográfica que, neste trabalho foi fundamental devido a capacidade dessas ferramentas em representar espacialmente os processos e padrões existentes na área de estudo sendo essencial na análise de informações espaciais.

Nessa premissa, a pesquisa adotou **os 5 (cinco) caminhos metodológicos** adotados pela escola brasileira, onde seus **métodos de pesquisa** trazem como propostas:

(1) a investigação do Índice de Vulnerabilidade Social e Ambiental da Cutter (SoVI; CUTTER et al., 2003), a partir da aplicação da **Análise Fatorial Exploratória (AFE)**, que se trata de uma organização estatística dos dados de forma a permitir que as variáveis que mais contribuem com objeto de estudo apareçam, destacando-se das demais. Todavia, como qualquer procedimento estatístico, exige cuidado no tratamento dos dados para que esses expressem efetivamente informações confiáveis sobre a vulnerabilidade do lugar. E, para isso, adotou as considerações de Cutter (1996; 2003; 2011), Alves (2006) e Mendes *et al.* (2011), além das propostas luso-brasileiras publicadas por Freitas e Cunha (2012; 2013), Freitas; Rossetti; Oliveira (2015), Bortoletto e Freitas (2016), Bortoletto (2016), Zucherato (2018) e Guerra (2020).

Posto isso, vale ainda destacar, que nesta pesquisa, como nova alternativa, procurou-se abordar uma visão sistêmica para avaliar as vulnerabilidades, buscando adaptar as alternativas acerca das metodologias já utilizadas e divulgadas no meio científico por Cutter (1996; 2003; 2011), Mendes et al., (2011), Alves (2006), sobre a AFE.

(2) a modelagem cartográfica ambiental dos padrões espaciais, por inferências espaciais em ambiente SIG, a partir de Álgebras de Mapas pela **Análise Multicritério à Decisão (AMD)** e a integração dos dados pelo **Processo Hierárquico Analítico (AHP)**, propostos por Saaty (2005, 2006); Gigović *et al.* (2009); Rahmati, Zeinivand e

Besharat (2015); Santos e Ventorini (2017); Li, Fan e Shen (2018); Hoang, Tran e Nguyen (2020); Ogato et al., (2020), Zacharias et al. (2021), Santos (2022), dentre outros que utilizam a ADM e AHP, em ambientes de SIG, para aplicação de modelagens de áreas propícias a desastres naturais por eventos hidrológicos (inundações, alagamentos e enchentes) e hidrogeológicos (movimento e/ou deslizamentos de massa). Assim, tendo como base os métodos da AFE, AMD e AHP, os procedimentos consistiram em elaboração de mapas temáticos, álgebras de mapas e cartografias de sínteses intermediárias e finais, para a definição de cenários de riscos na área de estudo trabalhada, onde:

a) de um lado foi utilizada uma análise estatística pelo método da Análise Fatorial Exploratória, associada ao SIG para a representação das Criticidades (C). Para o mapa de Capacidade de Suporte (CS) foi aplicada uma álgebra de mapa, visando obter a síntese intermediária para o mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental (VSA); e;

b) por outro, a partir da cartografia de síntese intermediária (VSA) foi realizada uma análise multicritério baseada na AMD e AHP, para a definição de cenários de riscos sínteses na área de estudo.

(3) o **cenário gráfico da Cartografia de Síntese**, considerando as **estruturas verticais e horizontais** do ambiente na paisagem, conforme proposta metodológica apresentada por Zacharias; Ventorini (2021), pelos AMD e AHP.

Na Figura 7, pode ser observado os principais procedimentos metodológicos que fundamentaram essa pesquisa de Doutorado.

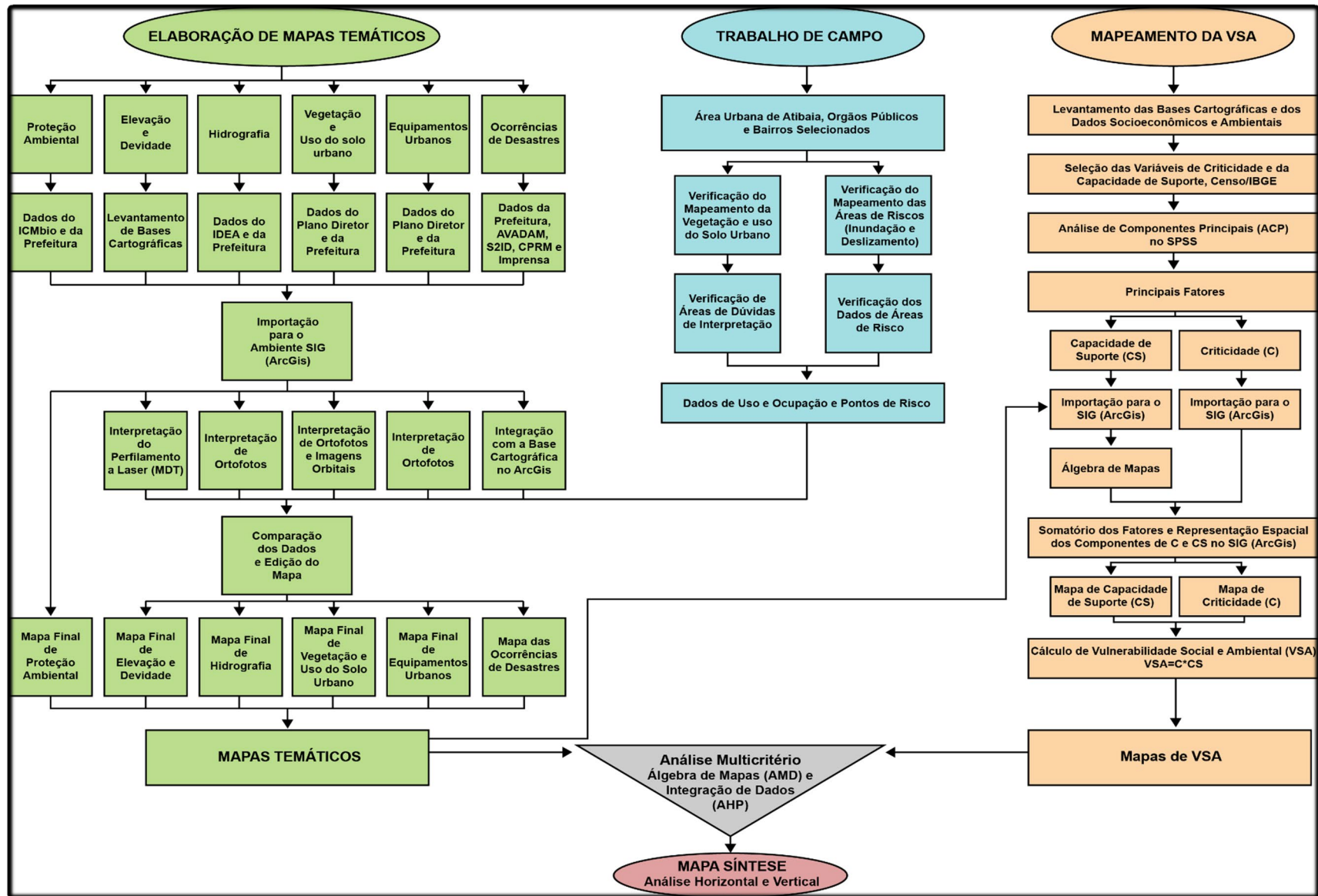


Figura 7 - Fluxograma com os Procedimentos Metodológicos da Pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.1. Levantamento de dados

Etapa destinada ao levantamento bibliográfico, leitura e fichamentos acerca de trabalhos sobre dos temas que fazem parte do universo da pesquisa. Além disso, esse levantamento, também, auxiliou na organização, estruturação, discussão e comparação dos resultados obtidos. Assim, foi de fundamental importância, pois permitiu a definição dos caminhos metodológicos, caracterização da área, além de auxiliar na definição dos termos conceituais que fazem parte do escopo do trabalho.

Os levantamentos dos dados, foram adquiridos junto a órgãos oficiais e centros de pesquisa, onde para todas as bases cartográficas obtidas utilizou-se o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, Fuso 23.

Desta forma, para os dados oriundos da base digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE), utilizou-se o formato *shapefile*, em escala 1:10.000, fornecendo informações do perímetro municipal de Atibaia/SP. Também, foram adquiridas informações da base digital de fotografias aéreas do Plano Diretor do Município e da Secretaria de Mobilidade e Planejamento do município de Atibaia, cujo levantamento realizado no ano de 2012, pode ser observado em imagens no formato *tiff*, com resolução geométrica de 20 cm, representando uma escala de 1:2.000 de todo o perímetro do município.

Ainda foram utilizados arquivos, a partir do inventário da Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo - (IDEA), em formato *shapefile*, na escala de 1:10.000, onde os dados utilizados apresentam informações das principais bacias hidrográficas.

Para os dados de precipitação média mensal, entre os anos de 2010 e 2020, consultou-se o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – (CIAGRO). Já os dados de vazão média do rio Atibaia, especificamente onde seu curso percorre o município, coletou-se a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas - (ANA).

Por fim, também, houve informações adquiridas através de levantamento e Georreferenciamento dos pontos coletados, junto as informações em sites e departamentos públicos do município. Estas informações são relacionadas a pontos específicos da área urbana do município como localização de escolas, hospitais, postos policiais e, demais pontos específicos relevantes a pesquisa.

5.2. Elaboração de mapas temáticos

Os mapas temáticos (analíticos) são compostos por produtos cartográficos com diversos dados relacionados a infraestrutura territorial da área de estudo. Estes produtos foram elaborados a partir da fotointerpretação de fotografias aéreas⁵, as técnicas de Geoprocessamento e do Sistema de Informação Geográfica - SIG *ArcGIS*⁶, na escala 1:10.000, utilizando o sistema de projeção cartográfica UTM, Zona 23 e *Datum SIRGAS 2000*.

Na metodologia os cenários gráficos (mapas) tornam-se fundamentais para o reconhecimento do município, com foco específico nas problemáticas sociais e ambientais, onde posteriormente tornam-se os principais indicadores ambientais, durante a aplicação de álgebras de mapa (pesos x influências), com a perspectiva da modelagem dos fenômenos inseridos no ambiente da paisagem.

Nesta perspectiva, os cenários gráficos no plano bidimensional (X,Y), foram compostos pelos mapas (escala 1:10.000): a) Uso e Cobertura da Terra (UCT); b) Hipsométrico; c) Hidrografia; d) Declividade; d) Hidrografia; e) áreas de preservação ambiental; f) áreas de ocorrência de desastres hidrológicos e hidrogeológicos; g) além de diversos mapas urbanos contendo a quantidade de equipamentos e infraestruturas presentes no município como hospitais, bases policiais, escolas, iluminação pública e outras informações.

5.2.1. Mapeamento da Cobertura Vegetal e do Uso Ocupação e Cobertura da Terra

O conhecimento aprofundado sobre a área, principalmente sobre o uso, ocupação e cobertura das terras existentes, é primordial para a identificação das vulnerabilidades. Assim, esse mapa se faz fundamental tanto para a obtenção de dados visando a análise final, quanto para o melhor conhecimento da área de estudo.

⁵ As fotografias aéreas foram cedidas pelo município de Atibaia/SP, adquiridas empresa Aeromapa S/A (ano de 2012), na escala de 1:2000. Seu mosaico, composto com todas as fotografias aéreas, foi obtido através da ferramenta *mosaic to new raster* encontrado no software ArcGis. Esta ferramenta constitui-se um processamento em geoprocessamento que produz a união de vários conjuntos de dados em formato de raster em um único.

⁶ O programa *ARCGIS* Versão 10. 7 utilizado neste estudo utiliza a Licença institucional da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp/Reitoria, cedido ao Grupo de Pesquisa em Geotecnologias e Cartografia Aplicadas à Geografia – GEOCART/CNPq.

Para o mapeamento, dois períodos foram considerados, os anos de 2009 e 2013. O cenário de 2009 foi disponibilizado pela prefeitura do município de Atibaia/SP e elaborado através da classificação digital das imagens orbitais, onde foi possível segmentar 3 (três) classes temáticas: urbano, vegetação rasteira e floresta densa, descritas no Quadro 3.

Quadro 3 - Classes Temáticas do Mapa da Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra – ano 2013

CLASSES SEGMENTADAS	INFORMAÇÃO
URBANO	representa todas as edificações presentes no município, como também os equipamentos urbanos como ruas e estradas
VEGETAÇÃO RASTEIRA	representa todas as espécies vegetais pouco desenvolvidas, sendo geralmente composta por gramíneas e pequenos arbustos
FLORESTA DENSA	representa a vegetação de maior porte presente no município

Fonte: Autor (2022)

Neste produto, não puderam ser observados áreas agrícolas, afloramentos rochosos ou demais alvos presentes no município devido à baixa resolução da imagem utilizada. Por esse motivo, esse mapeamento não pode ser aproveitado para a análise final da pesquisa, sendo utilizado apenas como fonte de consulta quanto a evolução histórica do uso, ocupação e cobertura da terra.

Para o cenário de 2013, o mapa da cobertura vegetal, uso, ocupação e cobertura da terra foi elaborado com o auxílio de fotografias aéreas adquiridas pelo município através da empresa Aeromapa S/A (ano de 2012), na escala de 1:2.000. O mosaico, com todas as fotografias aéreas foi obtido através da ferramenta *mosaic to new raster* do software ArcGis, por atribuir a etapa de processamento, em geoprocessamento, que produz a união de vários conjuntos de dados, em formato de raster, em um único. O resultado desta etapa pode ser observado na Figura 8, onde nota-se que as imagens aéreas do município apresentam elevada resolução espacial.

A Figura 8, mostra com clareza de detalhes os principais tipos de uso, ocupação e cobertura da terra do município de Atibaia/SP. Assim, visando a análise futura dos dados, foram considerados neste trabalho, somente o mapa elaborado com as informações do ano de 2013, por apresentar mais detalhes em relação ao produto do período anterior.

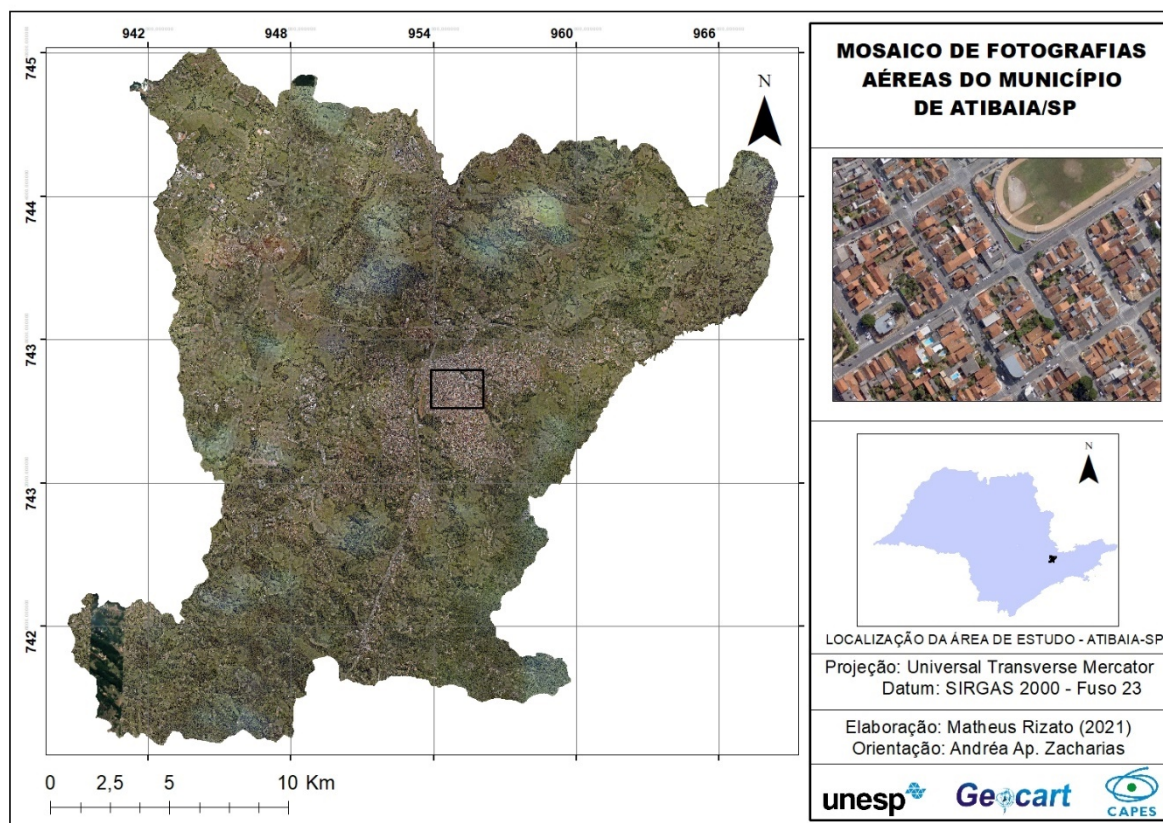


Figura 8 - Mosaico de fotografias aéreas do Município de Atibaia/SP
Fonte: Autor (2022)













Para a realização do mapa de uso, ocupação e cobertura da terra de 2013, foi utilizado o classificador Maximum Likelihood do SIG Arcmap 10.5, que estabelece a probabilidade de uma célula pertencer a cada um dos conjuntos de classes pré-definidos (NOVO, 1992). É um classificador amplamente utilizado para classificação de cobertura da terra e da vegetação, podendo auxiliar, segundo Beltrame et al. (2007) na identificação de diferentes alvos em uma mesma localidade. Desta forma, foi possível, através da escolha de amostras, realizar uma classificação dos alvos de interesse. Após a classificação, houve a transformação dos dados *raster* em vetores. Em seguida, efetuou-se a edição vetorial dos polígonos gerados, através da fotointerpretação do mosaico, levando-se em consideração os seguintes elementos: Tonalidade/Cor, Tamanho, Forma, Textura e Padrão, a fim de corrigir erros de inclusão e omissão gerados pelo classificador.







Desta forma, as imagens aerofotogramétricas de alta resolução permitiram que o mapeamento do uso e ocupação apresentasse detalhes, obtendo-se o total de 9

(nove) classes temáticas: (1) solo exposto; (2) área verde; (3) pasto sujo; (4) pasto limpo; (5) vegetação hidromórfica; (6) vegetação nativa; (7) afioramento rochoso; (8) urbano e; (9) agricultura e reflorestamento.

As classes da cobertura vegetal, e do uso, ocupação e cobertura da terra estão representadas no Quadro 4 onde se pode observar a forma de identificação de classes temáticas através da interpretação das fotografias aéreas para a identificação dos alvos e elaboração do mapeamento da área de estudo.

Quadro 4 - Classes temáticas do Mapa da Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra

Cor	Classe	Descrição	Chave de Interpretação	Aparência – fotografia aérea
	Solo exposto	Sem presença de vegetação ou edificações	Objeto de forma irregular, liso e de cor clara	
	Área Verde	Vegetação arbórea e arbustiva e área de regeneração	Feições de estrutura rugosa e heterogênea, geralmente próximas a áreas de habitação humana alternando em cores verde claro e escuro	
	Pasto Sujo	Área com vegetação rasteira e pastagem com presença de vegetação arbórea e arbustiva	Objetos com formas irregulares com textura levemente lisa e presença de rugosidades de cor verde	
	Pasto Limpo	Área com vegetação rasteira e pastagem	Objetos com textura lisa e verde claro	
	Vegetação Hidromórfica	Vegetação com alta concentração de água	Objeto de estrutura rugosa e heterogênea alternando entre espécies arbóreas e arbustivas de cor verde próxima a corpos d'água	
	Vegetação Nativa	Vegetação arbórea e arbustiva, mata ciliar e áreas de regeneração	Objetos com textura rugosa e heterogênea, formas irregulares e de cor verde escuro	

	Afloramento Rochoso	Área com presença de afloramentos rochosos	Objetos de textura lisa e cor cinza	
	Urbano	Residências, indústrias, estradas pavimentadas	Padrão geométrico (quadrados e retangulares) de cores claras e de diversos tons de cinza e vermelho	
	Agricultura e Reflorestamento	Cultivos agrícolas e reflorestamento	Padrões geométricos, textura relativamente lisa, homogênea e de cor escura	

Fonte: Autor (2022), adaptado de Pancher e Branco, 2021.

5.2.2. Mapa Hipsométrico

O mapa de hipsométrico, em uma análise de vulnerabilidades relacionadas aos aspectos hídricos e aos movimentos de massas, é um documento necessário uma vez que podem auxiliar na leitura morfométrica do relevo, sobretudo em eventos catastróficos que podem atingir as áreas de habitação urbana.

Para sua elaboração foram utilizados os produtos gerados pelo levantamento aéreo do ano de 2013. Além das fotografias, já citadas, também foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT) de toda a área do município com resolução geométrica de 20 cm. Esses dados foram gerados através da utilização de perfilamento a laser. Conforme relatório da empresa Aeromapa, responsável pelo levantamento à prefeitura da Estância de Atibaia (2012), esse processo permite que o sistema emita pulsos de laser em direção ao solo com uma determinada frequência e, registrada a distância da fonte emissora até o solo, para cada pulso emitido. A capacidade de distinguir vários “ecos” do pulso laser é que permite a identificação de objetos localizados acima da superfície do solo, tais como: vegetação, edificações, torres de energia, linhas de transmissão etc. Realizando-se uma classificação dos pontos, é possível fazer a remoção virtual das camadas de pontos localizadas acima do solo, e assim obter o MDT.

Através da obtenção do MDT, pode-se gerar o mapa de elevação utilizando a ferramenta TIN (Triangulated Irregular Network) no *software* Arcgis. O TIN é uma

estrutura de grade triangular vetorial, que permite a representação de uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Nos vértices destes triângulos são armazenadas as informações sobre a localização (x, y) e, sobre os valores de altitude/elevação correspondente ao eixo z (COELHO, 2007). No mapa foram inseridas 6 (seis) classes de elevação, permitindo melhor visualização das regiões mais e menos elevadas do município de Atibaia/SP.

Assim, o mapa de declividade foi gerado para identificar a inclinação do terreno em relação a base horizontal. Ela pode ser calculada pela variação da altitude entre dois pontos da área de estudo, em relação à distância que os separa (COELHO, 2007). Para a elaboração deste mapa foi usado como base o TIN, gerado através do MDT, adicionando a feição (*slope*) no Arcgis onde foi possível obter as feições de declividade, definidas 06 (seis) classes, variando de menor de 2% até acima de 45%.

5.2.3. Mapeamento da Hidrografia

O mapeamento da localização dos principais cursos de água também é de fundamental importância para a análise proposta nesta pesquisa, por possibilitar observar que os maiores eventos relacionados aos desastres hidrológicos (como enchentes e enxurradas), comumente, ocorrem em áreas próximas aos corpos d'água.

Assim, entende-se como espelho d'água, tudo que pode ser identificado como trechos dos rios com o seu leito mais largo, assim como lagoas. Relacionando a temática deste trabalho, estas áreas se apresentam mais suscetíveis a alagamento, correspondendo, portanto, a um importante dado para um maior monitoramento destas localidades.

O mapa contendo as bacias hidrográficas e os espelhos d'água foram da base de dados oficiais da prefeitura de Atibaia/SP do ano de 2020. Além disso, os dados foram retirados da base da Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo (IDEA), com arquivos adquiridos em formato *shape* e, importados para o SIG para a obtenção do mapa final. As fotografias aéreas de alta resolução, também, serviram para a aferição do mapeamento da hidrografia e dos corpos d'água, a fim de proceder a correção de possíveis falhas no mapeamento. As correções foram realizadas através da ferramenta de edição vetorial presente no Arcgis.

5.2.4. Mapeamento das Áreas de Proteção Ambiental

É importante destacar que a área de estudo contém considerável quantidade de áreas de proteção ambiental. Assim, o mapeamento e o monitoramento dessas áreas quanto ao seu estado de conservação e a existência ou não de ações antrópicas, tornaram-se primordiais para as discussões apresentadas ao tema deste trabalho.

Os dados que representam todas as áreas de proteção ambiental foram obtidos junto a Secretaria de Mobilidade e Planejamento Urbano do município de Atibaia/SP, além de dados e informações retiradas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) no ano de 2020 em escala 1:10.000. Os arquivos foram adquiridos em formato *shapefile* e importados para o SIG para a obtenção do mapa final.

5.2.5. Mapeamento dos Equipamentos Urbanos

Dentre os estudos relacionados as vulnerabilidades ambientais e sociais, a presença de equipamentos urbanos, torna-se de extrema relevância, para o enfrentamento de eventos de risco. Assim, o conhecimento de sua disponibilidade e da sua dinâmica espacial tornam-se essenciais para o planejamento do poder público, quanto a sua tomada de decisão em relação a ações que buscam melhorar a situação das populações em áreas suscetíveis aos riscos. O amplo conhecimento da localização das ruas principais para facilitar o transporte de pessoas e mercadorias, das unidades de saúde para o tratamento de possíveis vítimas, das escolas, que poderiam servir de abrigo para populações atingidas, entre outros, são alguns componentes que servem de subsídio e/ou indicativos para tomadas de decisão por parte do poder público.

Para a elaboração dos Mapas com os Principais Equipamentos Urbanos do município, foram necessários a utilização de dados e informações oriundas da Secretaria de Mobilidade e Planejamento Urbano do município, do Plano diretor municipal (2007) e da interpretação das informações contidas nas fotografias aéreas. Além disso, foram necessárias a elaboração de pesquisas junto a órgãos e sites oficiais do município quanto: a) a localização dos componentes no mapa, como a localização de hospitais, escolas e pontos de apoio policial; b) além das diretrizes de

zoneamento urbano do plano diretor que delimitam o perímetro urbano do município. Estes pontos foram verificados e inseridos a sua localização geográfica no mapa.

Na sequência, os dados foram importados no ambiente SIG e georreferenciados conforme a sua localização espacial. No primeiro mapa foram inseridas as informações quanto ao perímetro urbano do município, a localização das principais ruas e avenidas e a sua situação (asfalto, terra, paralelepípedo e bloquete), das bases de polícia presentes, das unidades de saúde e das escolas existentes em todo o perímetro municipal.

Para o segundo mapa inseriram-se as informações da localização de cada ponto de iluminação pública em todo território municipal. Também, foi mapeado o perímetro de abrangência dos sistemas Muralha 1 e Muralha 2 que consiste em um sistema de monitoramento por câmeras ligadas a uma central que está conectada a secretaria de segurança pública de São Paulo. Com este procedimento, tanto o conhecimento quanto a localização de iluminação pública e da presença deste sistema de câmeras, podem auxiliar no monitoramento de áreas consideradas vulneráveis, do ponto de vista social e ambiental, principalmente em períodos em que ocorrem os desastres.

No terceiro mapa, foi inserida uma camada vetorial em forma de polígono contendo os imóveis existentes no município. Desta forma, foi possível identificar todas as construções existentes em áreas de risco e, quantificar com maior exatidão os impactos causados na população em áreas mais vulneráveis. Para sua elaboração utilizou-se o mosaico de fotografias aéreas, onde foi realizado o procedimento de segmentação e classificação supervisionada, através do classificador *Maximum Likelihood* presente no Arcgis, no qual foi possível, por meio da escolha de amostras, realizar uma classificação dos alvos de interesse. Após, houve a transformação dos dados em vetores, e a realização de uma edição vetorial dos polígonos gerados para identificar e corrigir os erros de inclusão e omissão gerados pelo classificador. No geral, o classificador se mostrou satisfatório na identificação dos alvos, contudo a verificação manual foi primordial para o refinamento das informações

5.2.6. Mapeamento das ocorrências de Desastres de Inundação e de Movimento de Massa

A compilação de dados do município de Atibaia/SP, acerca dos eventos potencialmente causadores de desastres e cenários de risco foi realizada através de buscas em documentos oficiais de órgãos governamentais e, posteriormente, em noticiários e demais fontes acessadas, via internet entre os anos de 2010 e 2020, considerando a escala de prioridade apresentada na Figura 9.

Para a aquisição dos dados foram consideradas as fontes dos documentos de Avaliação de Danos (AVADAN) publicados em 2020, que possuem um inventário com todos os formulários de avaliação de danos que as prefeituras devem preencher junto ao governo do Estado para o decreto de declaração de emergência ou estado de calamidade pública. O relatório deve ser preenchido, num prazo máximo de 120 horas, após a ocorrência do desastre e enviado aos órgãos de coordenação e articulação do SINDEC, em nível Estadual e Federal. Também, considerou-se os dados do Sistema Integrado de Informação de Desastre (S2ID), que a partir de 2013 substitui o AVADAN no registro de emergências ou estado de calamidade pública.

Ainda, utilizou-se informações do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2020), que traz o levantamento de todos os eventos ocorridos nos estados brasileiros, como estiagens e secas; inundações bruscas e alagamentos; inundações graduais; vendavais e ciclones; tornados; geadas; e incêndios florestais.

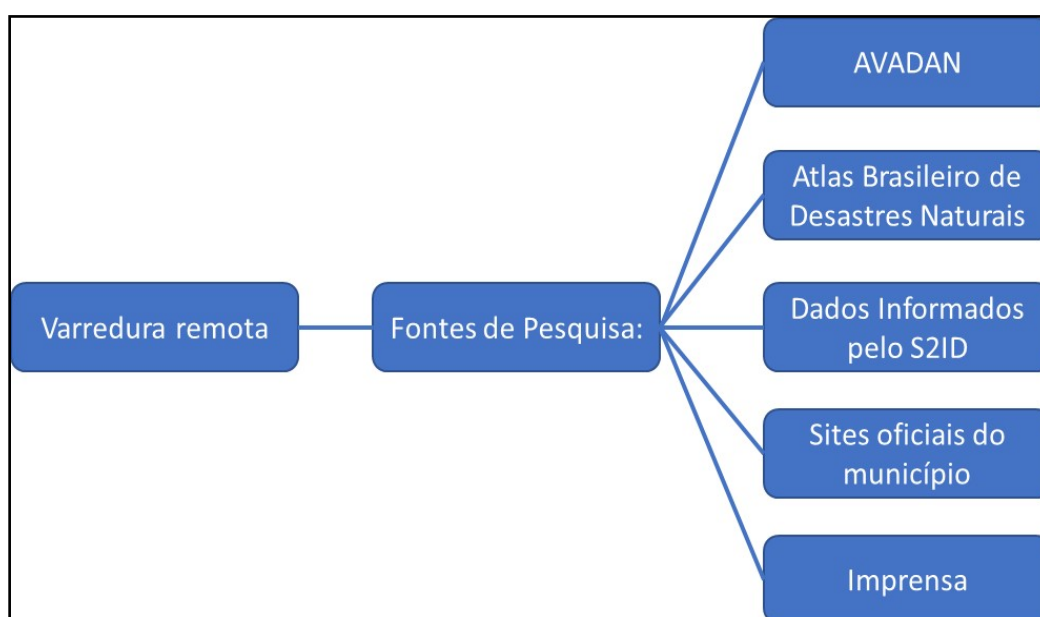


Figura 9 - Escala de prioridade de busca de informações
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Através das informações obtidas avaliou-se um período aproximado de 20 anos, entre 2000 e 2020, os parâmetros abaixo destacados:

- Frequência de ocorrência dos eventos;
- Temporalidade das ocorrências;
- Sazonalidade das ocorrências, e;
- Hierarquização dos eventos.

Para a análise temporal e sazonal de cada evento foi criado um protocolo, por identificar que várias fontes registram um mesmo evento e/ou o mesmo evento por dias consecutivos. Assim, visando minimizar suas ocorrências em duplicidade, o que poderia interferir nestas análises, foram considerados os seguintes critérios:

- a) várias fontes de um mesmo evento, em dias coincidentes – 1 único evento;
- b) o mesmo evento registrado pelos órgãos oficiais por dias consecutivos – 1 único evento.

De maneira complementar, utilizou-se, também, os dados obtidos pelo Estudo de Setorização em Alto e Muito Alto Risco a Movimento de Massa, Enchentes e Inundações do município de Atibaia/SP, elaborados em 2012 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM e Departamento de Gestão Territorial – DEGET. A partir deste documento, foi possível obter dados dos anos de 2011 e 2012, salientando que, por não apresentarem as datas específicas de cada registro relacionados, os dados dos eventos potencialmente causadores de desastres não foram incorporados à listagem geral e, conseqüentemente, à análise temporal e sazonal deles.

Ainda em relação a estes estudos, eles apresentam pranchas com a delimitação dos setores suscetíveis a movimento de massa, enchentes e inundações, baseados nos dados levantados, os quais foram devidamente sintetizados em ambiente SIG.

Aprofundando-se na análise de impactos associados à elevação do fluxo hídrico, foi fornecido pela Defesa Civil do município o estudo de simulação da superfície/mancha de inundação dos eventos de alagamento no ano de 2011, a qual foi sobreposta sobre à base cartográfica municipal, possibilitando a análise de danos.

Ao final pode ser observado mapas e quadros contendo o total das áreas afetadas por desastres naturais, assim como a descrição de cada evento que foi

dividido entre hidrológicos (inundação e enxurrada) e hidrogeológicos (movimento de massa). Além disso, também foi elaborado um mapa constando a simulação da superfície/mancha de inundação dos eventos de alagamento desde o ano de 2011 até 2018 e o número de imóveis presentes nessas áreas de alagamento.

5.3. Mapeamento da Vulnerabilidade Social e Ambiental

Nesta etapa, serão apresentados os principais passos para o tratamento dos dados, com o objetivo de obter o mapeamento da vulnerabilidade social e ambiental do município de Atibaia/SP. Assim, como já apresentado anteriormente, esta metodologia toma como base a análise luso-brasileira, acrescida de algumas modificações, propostas nesta Tese de Doutorado pelo GEOCART/CNPQ/Brasil e assim a escola brasileira, a fim de trazer uma maior adaptação a realidade de países que se localizam em áreas tropicais e, sobretudo à realidade observada na área de estudo.

5.3.1. Identificação dos setores, coleta e seleção de dados do Censo Demográfico

Para o levantamento dos dados demográficos e sociais, utilizou-se os dados publicados pelo censo demográfico pelo IBGE em 2010. Os dados selecionados referentes ao município de Atibaia/SP abordam características sociais e ambientais dos domicílios e da população. Estas informações servem de base para a análise dos fatores de Vulnerabilidades Sociais e Ambientais (VSA), resultando nas informações relativas aos termos de Criticidade (C) e Capacidade de Suporte (CS).

Freitas e Cunha (2013), definem Capacidade de Suporte, com base em Mendes *et al.* (2009, p.69-70) “como o conjunto de infraestruturas territoriais que permite à comunidade reagir em situações de riscos de desastres”, e a Criticidade é entendida como o “conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que pode contribuir para a ruptura do sistema” e enfrentar de forma mais adequada, uma situação de risco.

Para este procedimento, a **primeira etapa** foi a identificação da quantidade de setores censitários e sua espacialização no território, para obter a dimensão dos dados. Neste trabalho, estas informações foram obtidas pelo IBGE (2010), totalizando

em 327 (trezentos e vinte e sete) setores censitários. A Figura 10 permite observar a espacialização dos setores censitários no município de Atibaia/SP.

A **segunda etapa** abrangeu a seleção das variáveis disponibilizadas no Censo demográfico, onde foram utilizadas àquelas que se encaixavam nos critérios para a definição das vulnerabilidades da população residente, a partir dos componentes que definem a Criticidade e a Capacidade de Suporte. A seleção destes dados teve como foco os principais fatores determinantes em casos de ocorrências de desastres.

Na seleção dos dados do Censo, a organização se dá com um “código”, criado para cada variável, seguido pelo seu “nome”, a “dimensão” que simboliza se essa variável é utilizada para criticidade ou capacidade de suporte, ao “grupo” que sinaliza o tipo de abordagem que este dado está relacionado, a “variável base” que está atrelada a forma como as variáveis estão organizados pelo IBGE em seu banco de dados, e por fim, a sua “normalização” em relação aos dados base. Através da Tabela 1, podem ser observadas as variáveis selecionadas para a análise dos dados estatísticos.

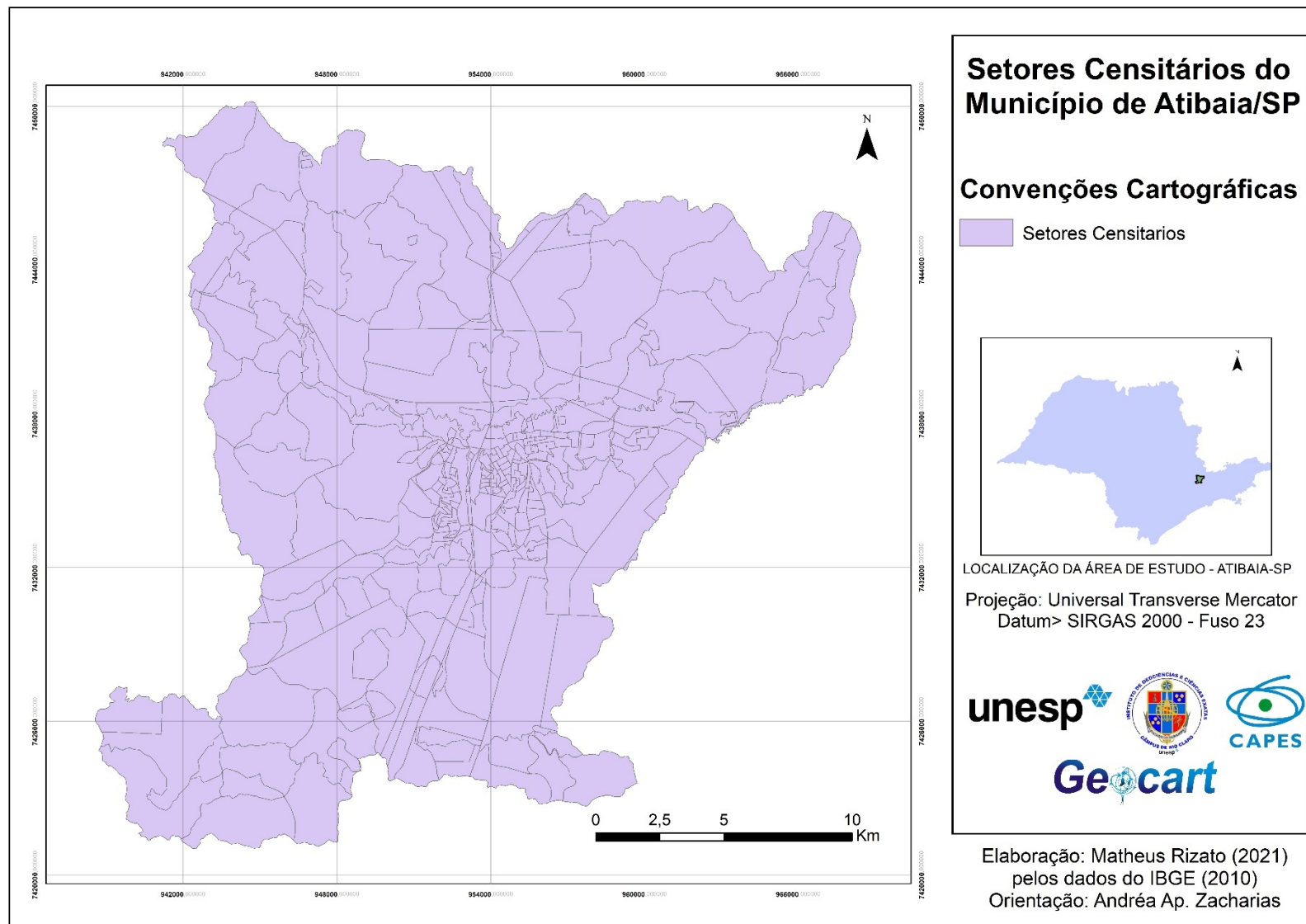


Figura 10 - Setores Censitários do Município de Atibaia/SP
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2020)

Tabela 1 - Variáveis selecionadas para a composição dos dados de vulnerabilidade de Atibaia/SP

Código	Nome	Dimensão	Grupo	variável base	normalização
cr_at_01	Nº médio de Moradores por habitação	criticidade	moradores	básico v003	Sem normalização
cr_at_02	Rendimento médio mensal da habitação	criticidade	rendimento	básico v005	Sem normalização
cr_at_03	Variância média do rendimento médio mensal da habitação	criticidade	rendimento	básico v006	Sem normalização
cr_at_04	Habitações em arrendamento	criticidade	situação habitação	domicílio_01 v008	domicílio_01 v002
cr_at_05	Habitações em aquisição	criticidade	situação habitação	domicílio_01 v007	domicílio_01 v002
cr_at_06	Habitações com 1 morador	criticidade	moradores	domicílio_01 v050	domicílio_01 v002
cr_at_08	Habitações apenas com moradores do sexo feminino	criticidade	moradores	domicílio_01 v060	domicílio_01 v002
cr_at_11	Moradores do sexo feminino	criticidade	moradores	domicílio_02 v089	domicílio_02 v002
cr_at_12	Mulheres responsáveis pela renda	criticidade	gênero	responsavel_01 v001	responsável_02 v001
cr_at_14	Menores de 18 anos responsáveis pela renda	criticidade	idade	responsável_02 v002a v009	responsável_02 v001
cr_at_16	Pessoas alfabetizadas responsáveis pela renda	criticidade	educação	responsável_02 v093	responsável_02 v001
cr_at_19	Filhos alfabetizados	criticidade	educação	peessoa_01 v080	peessoa_01 v001
cr_at_20	Sogros/Pais alfabetizados	criticidade	educação	peessoa_01 v081	peessoa_01 v001
cr_at_24	Pessoas com menos de 1 ano	criticidade	idade	peessoa_13 v035	peessoa_13 v001
cr_at_26	Pessoas com mais de 70 anos	criticidade	idade	peessoa_13 v094:	peessoa_13 v001
cr_at_28	Renda dos domicílios improvisados	criticidade	rendimento	domicilio_renda v003	domicílio_02 v001
cr_at_29	Domicílios com renda menor do que 1 salário mínimo	criticidade	rendimento	domicilio_renda v005:	domicílio_02 v001
cr_at_30	Domicílios com renda maior do que 5 salários mínimos	criticidade	rendimento	domicilio_renda v012:	domicílio_02 v001
cr_at_31	Domicílios sem renda mensal	criticidade	rendimento	domicilio_renda v014	domicílio_02 v001
cr_at_33	Mulheres responsáveis pela habitação sem renda	criticidade	gênero	responsavel_renda v054	responsavel_renda v064
cs_at_05	Habitações abastecidas com rede de água	capacidade de suporte	serviços basicos	domicílio_01 v012	domicílio_01 v002

Código	Nome	Dimensão	Grupo	variável base	normalização
cs_at_06	Habitações com casa de banho	capacidade de suporte	infraestrutura	domicilio_01 v016	domicilio_01 v002
cs_at_07	Habitações com lixo coletado	capacidade de suporte	serviços básicos	domicilio_01 v035	domicilio_01 v002
cs_at_08	Habitações com rede de energia elétrica	capacidade de suporte	serviços básicos	domicilio_01 v043	domicilio_01 v002
cs_at_11	Habitações semi-inadequadas	capacidade de suporte	infraestrutura	entorno_02 v204	domicilio_01 v001
cs_at_12	Habitações inadequadas	capacidade de suporte	infraestrutura	entorno_02 v206 e 207	domicilio_01 v001
cs_at_13	Habitações com iluminação pública	capacidade de suporte	serviços básicos	entorno_01 v208, 210, 212	domicilio_01 v001
cs_at_14	Habitações com rua pavimentada	capacidade de suporte	serviços básicos	entorno_01 v014.v016,v018	domicilio_01 v001
cs_at_15	Habitações com calçada	capacidade de suporte	infraestrutura	entorno_01 v020, v022, v024	domicilio_01 v001
cs_at_16	Habitações com bueiro/boca de lobo	capacidade de suporte	serviços básicos	entorno_02 v032, v034, v036	domicilio_01 v001
cs_at_17	Habitações com rampa de cadeirante	capacidade de suporte	infraestrutura	entorno_02 v238	domicilio_01 v001
cs_at_18	Habitações com arborização	capacidade de suporte	infraestrutura	entorno_0 v044, v046, v048	domicilio_01 v001
cs_at_19	Habitações não existe esgoto a céu aberto	capacidade de suporte	serviços básicos	entorno_01 v051, v053, v055	domicilio_01 v001
cs_at_20	Habitações sem lixo acumulado	capacidade de suporte	serviços básicos	entorno_01 v057, v059 v061	domicilio_01 v001

Fonte: Autor (2022), a partir dos dados do Censo Demográfico (IBGE 2010).

Após a seleção das variáveis, foi necessário um ajuste quanto aos dados presentes na área de estudo. A verificação da quantidade e da qualidade de dados pesquisados na base oficial, assim como a presença ou não de dados válidos em cada setor se torna primordial para a aplicação do procedimento estatístico. Em alguns setores censitários, os dados foram ausentes ou nulos, sendo necessário cancelá-los para a análise final. Em seguida todos os valores tiveram que seguir o mesmo sentido de influência sobre a análise desejada. Para exemplificar, os dados relacionados ao aumento da Criticidade tiveram que seguir o mesmo critério, ou seja, quanto maior o valor, maior o nível de Criticidade. Os dados que apresentavam, em sua base, essa tendência invertida, tiveram que ser multiplicados por “-1” para que fossem inseridas no modelo fatorial final. Até esta etapa, tantos os dados de criticidade quanto os de capacidade de suporte tiveram o mesmo tratamento.

A partir deste momento, iniciou-se a **terceira etapa**, a ruptura da análise dos dados, sendo que neste trabalho: **a)** para a obtenção do Mapa de Criticidade, foram utilizados somente as informações obtidas pelo Censo (2010); **b)** enquanto para o Mapa de Capacidade de Suporte, já inserindo a adaptação metodológica proposta desta Tese, utilizaram-se os dados espaciais provenientes dos mapas temáticos.

Vale destacar que essa diferença de análise se fez necessária, pois para se obter a Criticidade de um município, são necessárias informações mais voltadas para a investigação da população residente. Assim, os dados censitários apresentam o conjunto de características dos habitantes que podem ou não aumentar a sua Vulnerabilidade Social e Ambiental. Já para a Capacidade de Suporte, por se tratar de uma análise onde é considerada determinante a quantidade de infraestruturas territoriais e sua espacialidade, utilizaram-se os dados do censo demográfico (2010) e, as informações presentes nos mapas temáticos. As etapas para a obtenção dos mapas de criticidade e de capacidade de suporte serão apresentadas nos tópicos a seguir.

5.3.2. Criticidade

Para a análise da Criticidade, os dados selecionados e tratados foram submetidos a elaboração de uma Análise Fatorial Exploratória (AFE). Para isso, os valores tiveram que ser testados em um modelo de correlação entre as variáveis.

Segundo Martinez e Ferreira (2010), a chamada matriz de correlação simboliza a associação linear entre variáveis, podendo ser entre -1 e 1, onde o valor negativo representa a predominância de uma determinada variável sobre outra, enquanto o valor positivo determina uma relação positiva entre variáveis, onde o aumento dos valores de uma reflete o aumento de outra. Ainda segundo estes autores, quanto mais próximo o valor for de 0, as variáveis apresentam menor relação entre si, se tornando independentes. Já para Pestana e Gageiro (2014), é necessário que se utilize um valor limite de correlação para que as variáveis possam compor o modelo fatorial.

Nesse trabalho, as variáveis apresentaram o valor de correlação de $< 0,7$ positivo ou negativo, para que se fossem identificadas as variáveis redundantes. Após a identificação das correlações, foi necessário a investigação de cada variável para decidir qual seria a mais relevante para a análise e por isso deverá ser mantida e, qual é menos relevante que deverá ser suprimida. As variáveis selecionadas para a análise final deste trabalho podem ser observadas na Tabela 1.

Com a definição das variáveis, após o teste de correlação, os dados foram inseridos no modelo de análise fatorial, utilizando-se o *software* de estatística *IBM SPSS Statistics Base*, por facilitar os cálculos dos dados obtidos. Este *software*, de acordo com Vidal 2006, é dedicado para os cálculos de análise fatorial, que auxilia na obtenção das análises, uma vez que confirma através de relatórios, tabelas e gráficos se o modelo construído é válido, e com qualidade mínima para a obtenção do resultado.

Zucherato (2021), explicita que no processo de elaboração da AFE, devem ser observados alguns parâmetros para a validação da análise como: a) o teste de KMO (Kaiser-Meyer-Olmin); b) os valores de comunalidades; c) a variância total explicada e; d) o gráfico de escarpa e matriz de componente rotativa.

Inicialmente, Pestana e Gageiro (2014), destacam que o teste KMO é utilizado para se obter a adequabilidade do modelo fatorial através de testes de consistência geral dos dados e variáveis do modelo trabalhado. Assim, o KMO varia de 0 a 1 sendo os valores próximos de 1 os de correlações parciais pequenas, enquanto os valores próximos de 0 os de correlações parciais grandes, indicando que o modelo adotado não é aplicável. Neste trabalho, o valor de KMO obtido foi de 0,67, assim, ainda segundo esses autores, apresentado um valor suficiente para a conclusão da análise final e obtenção dos dados de criticidade.

Em relação a comunalidade, ela é explicada por Matos e Rodrigues (2019), como a proporção de variância comum presente numa determinada variável. Dessa forma, uma variável que não apresente variância específica ou de erro, teria uma comunalidade de 1, enquanto uma variável que não compartilhe variância com nenhuma outra variável teria uma comunalidade de valor 0. De acordo com a literatura, indica-se que o valor mínimo de comunalidade aceitável é de 0,5. Isso simboliza que para uma variável ser considerada, ela precisa ter uma grande proporção de variância comum.

As comunalidades obtidas neste trabalho foram todas acima de 0,5, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Comunalidades para a Criticidade

Variável	Extração
cr_at_02 Rendimento Médio Mensal (em reais)	0,608
cr_at_04 % de habitações em arrendamento	0,779
cr_at_05 % de habitações em aquisição	0,577
cr_at_06 % de habitações com 1 morador	0,794
cr_at_08 % de habitações com moradores exclusivamente do sexo feminino	0,755
cr_at_12 % dos responsáveis pela renda do sexo feminino	0,722
cr_at_14 % dos responsáveis pela renda menores de 18 anos	0,763
cr_at_16 % dos responsáveis pela renda alfabetizados	0,644
cr_at_19 % dos alfabetizados que são filhos (as) ou enteados (as)	0,685
cr_cj_20 % dos alfabetizados que são pais, mães ou sogros(as)	0,661
cr_at_24 % dos moradores com menos de 1 ano de idade	0,626
cr_at_26 % dos moradores com mais de 70 anos de idade	0,724
cr_at_28 Renda média dos domicílios improvisados	0,622
cr_at_29 % de habitações com renda inferior a 1 salário-mínimo	0,772
cr_at_30 % de habitações com renda superior a 5 salários-mínimos	0,688
cr_at_31 % de habitações sem renda	0,711
cr_at_33 % das mulheres responsáveis pela habitação que não possuem renda	0,752

Fonte: Autor (2022)

A variância explicada pode ser apresentada pelo *software* estatístico através de uma tabela, que apresenta, inicialmente, os autovalores iniciais seguidos pela soma dos quadrados das cargas extraídas e a rotação das somas dos quadrados das cargas. Esses dados, segundo Martinez e Ferreira (2010), estão associados a quantidade de informação que foi analisada na matriz de fatores extraídos (variância assumida pelo fator). Os autovalores são índices que revelam a quantidade de informação existente nas variáveis incluídas no modelo e resultam da soma das correlações elevadas ao quadrado de todos os itens que estão associados ao fator

obtido. Assim, a soma dos autovalores corresponde ao total de variáveis incluídas no modelo, da seguinte forma: quando um fator apresenta valor igual ou superior a 1, significa que ele explica pelo menos a variância de uma das variáveis inseridas (HAIR *et al.* 2006).

Na Tabela 3 podem ser observados os valores de variância obtidos nessa análise. O modelo identificou um total de 6 fatores latentes que explicaram no total 69,8% da variância, demonstrando que a qualidade do resultado foi considerada satisfatória (mínimo de 60% de explicação). Em seguida pode ser observado o gráfico de escarpa (Figura 11) que simboliza no eixo X os componentes do modelo fatorial e no eixo Y os autovalores.

Tabela 3 -Tabela de Variância Explicada

Componente.	Autovalores iniciais			Soma dos Quadrados das Cargas Extraídas			Rotação das Somas dos Quadrados das Cargas		
	Total	Variância %.	Acumulativo %	Total	Variância %.	Acumulativo %	Total	Variância %.	Acumulativo %
1	3,609	21,228	21,228	3,609	21,228	21,228	2,793	16,428	16,428
2	2,961	17,418	38,646	2,961	17,418	38,646	2,729	16,050	32,478
3	1,704	10,024	48,670	1,704	10,024	48,670	2,230	13,116	45,594
4	1,435	8,440	57,110	1,435	8,440	57,110	1,474	8,673	54,267
5	1,154	6,789	63,899	1,154	6,789	63,899	1,455	8,561	62,828
6	1,019	5,993	69,892	1,019	5,993	69,892	1,201	7,064	69,892
7	,924	5,434	75,326						
8	0,775	4,559	79,885						
9	0,679	3,993	83,878						
10	0,535	3,146	87,024						
11	0,462	2,716	89,740						
12	0,400	2,353	92,093						
13	0,343	2,019	94,112						
14	0,336	1,979	96,091						
15	0,277	1,632	97,723						
16	0,242	1,422	99,145						
17	0,145	0,855	100,000						

Fonte: Autor (2022)

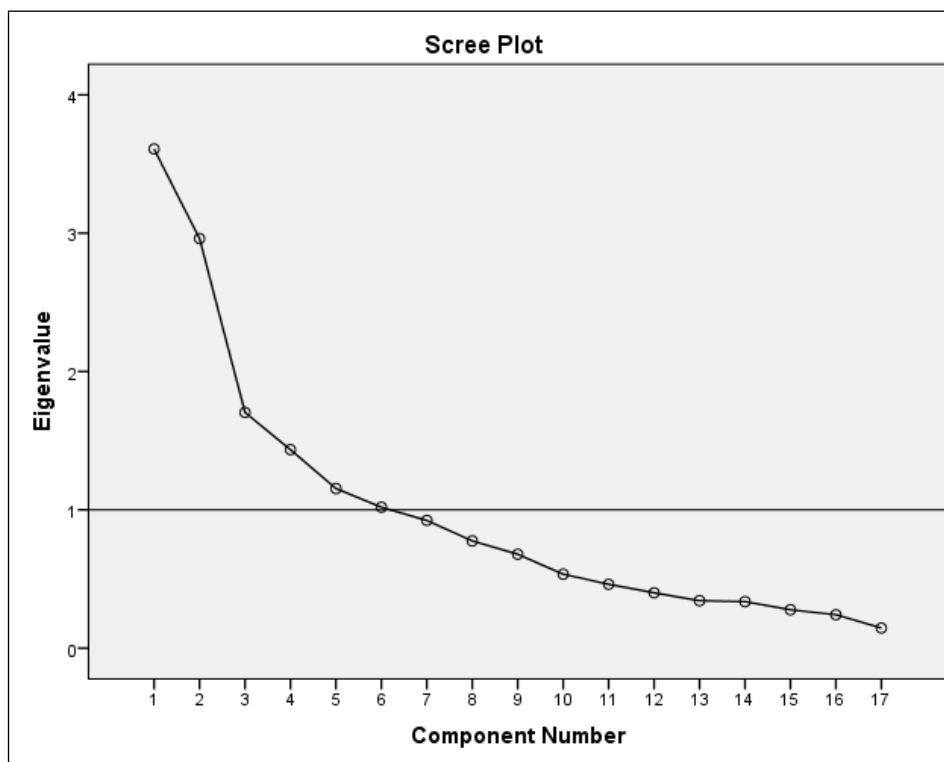


Figura 11 - Gráfico de Escarpa
Fonte: Autor (2022)

No caso desta análise, conforme pode ser observado na Figura 11 foram considerados os números de fatores com o autovalor acima de 1. Isso ocorre, pois devem ser retidos quaisquer fatores individuais que explicarem a variância de pelo menos uma variável, como cada variável contribui com uma unidade no autovalor total (HAIR et al., 2006).

A matriz de componentes rotativa, segundo Martinez e Ferreira (2010) citados por Zucherato (2021), permite fazer a interligação de cada fator com as variáveis incluídas. Assim, é possível fazer agrupamentos das variáveis utilizadas permitindo a análise do comportamento estatístico entre os dados de entrada e de saída do modelo fatorial. Na Tabela 4 podem ser observados os dados da matriz de componentes rotativas para esta análise de criticidade.

Tabela 4 - Matriz de Componentes Rotativa

Variáveis	Componentes					
	1	2	3	4	5	6
cr_at_14 % dos responsáveis pela renda menores de 18 anos	0,807					
cr_cj_20 % dos alfabetizados que são pais, mães ou sogros(as)	0,766					
cr_at_33 % das mulheres responsáveis pela habitação que não possuem renda	0,717					
cr_at_12 % dos responsáveis pela renda do sexo feminino	0,703					
cr_at_30 % de habitações com renda superior a 5 salários mínimos		0,819				
cr_at_29 % de habitações com renda inferior a 1 salário mínimo		0,730				
cr_at_28 Renda média dos domicílios improvisados		0,716				
cr_at_02 Rendimento Médio Mensal (em reais)		0,705				
cr_at_16 % dos responsáveis pela renda alfabetizados		0,585				
cr_at_06 % de habitações com 1 morador			0,869			
cr_at_08 % de habitações com moradores exclusivamente do sexo feminino			0,756			
cr_at_26 % dos moradores com mais de 70 anos de idade			0,674			
cr_at_04 % de habitações em arrendamento				0,860		
cr_at_19 % dos alfabetizados que são filhos (as)ou enteados (as)	0,510			0,600		
cr_at_24 % dos moradores com menos de 1 ano de idade					0,700	
cr_at_05 % de habitações em aquisição						-0,729
cr_at_31 % de habitações sem renda						0,548

Fonte: Autor (2022)

Por fim, os 6 (seis) fatores utilizados foram submetidos a cada setor censitário calculando-se o valor final de criticidade com base na soma ponderada, que se baseia na geração do valor final obtido pela soma de cada fator multiplicado pelo valor percentual da variância do referido componente, criando assim um meio que valorize

os fatores latentes mais representativos, ao mesmo tempo em que considera a multiplicidade de aspectos dos fatores menores (SCHMIDTLEIN et al., 2008).

Nesse método, para o cálculo da Criticidade final utilizou-se a equação (1), que foi aplicada em cada um dos setores censitários.

$$Cr = (C_{f1} * F_{1x1} * V_{f1}) + \dots (C_{fn} * F_{nxn} * V_{fn}) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Cr = Criticidade final

Cf = Contribuição do Fator⁷

F = Valor do fator para cada unidade de análise

V = Percentagem de variância explicada de cada fator obtido

A partir do procedimento descrito são obtidos, os valores individuais finais para cada unidade de análise das áreas de estudo e, portanto, o conhecimento da sua criticidade. Contudo, esses valores precisam ser transformados em um índice de um determinado intervalo, para que eles possam ser comparados entre si. Para isso, os valores finais de criticidade tiveram que ser transformados em um procedimento linear quadrático para se adequar a uma amplitude de valores entre 0 e 1. (ZUCHERATO, 2021). Para esse procedimento, foi utilizado a seguinte equação 2:

$$F(X_i) = 0,5 \left(\frac{X_i}{A} + (1) \right)^C \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

xi = Escore final fatorial de cada unidade de análise

A = - Mínimo (xi)

B = Máximo (xi)

$$C = \frac{\ln 2}{\ln \left(\frac{B}{A} + 1 \right)}$$

Assim, a Criticidade pode ser adicionada a uma base cartográfica, para a obtenção do mapa final. Neste caso, os valores foram inseridos a base cartográfica através da ferramenta *join* do SIG Arcgis, onde foi possível juntar as informações obtidas com a análise dos dados censitários com a base cartográfica digital do

município de Atibaia. Uma vez inserida a base de dados, as mesmas foram classificadas pelo método de média, menos o desvio padrão, permitindo-se gerar o Mapa final de Criticidade de Atibaia/SP, a partir de 5 classes: (1) muito baixa, 2 (baixa), 3 (média), 4 (alta) e 5 (muito alta), conforme pode ser observado no Quadro 5.

Quadro 5 - Critérios de classificação de Criticidade

Classes	Legenda	Valor das classes
1	<i>Muito baixa</i>	0 - 0,188013
2	<i>Baixa</i>	0,188013 - 0,394063
3	<i>Média</i>	0,394063 - 0,516623
4	<i>Alta</i>	0,516623 - 0,644851
5	<i>Muito Alta</i>	0,644851 - 1

Fonte: Autor (2022)

A classe 1 expressa muito baixa Criticidade enquanto a classe 5 indica Criticidade muito alta das pessoas que vivem em áreas de situação suscetíveis aos riscos.

5.3.3. Capacidade de Suporte

Partindo da concepção de que a capacidade de suporte é explicada pela quantidade de infraestrutura e equipamento urbano existente em um local, que permita o melhor enfrentamento da população a eventos de risco, foram utilizados os dados obtidos do Censo de 2010, conforme descrito no item 5.3.1. Desta forma, considerou-se os dados sobre a condição de moradia e da população residente. Além disso, também foram considerados as informações espaciais oriundas dos mapas físicos e urbanos. Assim, nos itens subsequentes serão descritos como esses dados foram obtidos, processados e analisados para a obtenção do mapa final de capacidade de suporte.

5.3.3.1. Processamento dos dados do Censo para Capacidade de Suporte

Para esta análise e mapeamento, foram utilizados dos dados censitários (IBGE, 2010) considerando elementos dos domicílios particulares, das pessoas e das estruturas urbanas que possam oferecer informações sobre a capacidade de suporte de cada setor analisado.

Nesse contexto, vale destacar que a Capacidade de Suporte abrange as características que permitem à comunidade reagir em casos de desastres, amplificando a sua recuperação e resiliência.

Como critério de escolha para a análise levou-se em conta os fatores potencialmente responsáveis para a definição da Vulnerabilidade Social e Ambiental de cada área (considerando os cenários de desastres), conforme foi abordado na Tabela 1. Assim, pode ser observado que os dados selecionados estão diretamente ligados a infraestrutura do local, como: abastecimento de água, tratamento de esgoto, coleta de lixo, pavimentação, energia elétrica, equipamentos hidráulicos (calçamento, meio fio, bueiro, boca de lobo etc.), arborização, renda da população residente, densidade demográfica e outros.

Os dados foram submetidos à um tratamento estatístico, separados em 5 (cinco) quartis; posteriormente, com base na representação percentual de cada variável, classificados em 5 (cinco) níveis de capacidade de suporte: (1) muito baixa, 2 (baixa), 3 (média), 4 (alta) e 5 (muito alta), observados no Quadro 6.

Quadro 6 - Critérios de classificação de Capacidade de Suporte

Classe	Valor das classes
<i>Muito alta</i>	5
<i>Alta</i>	4
<i>Média</i>	3
<i>Baixa</i>	2
<i>Muito Baixa</i>	1

Fonte: Autor (2022)

Em seguida, esses dados foram transferidos para um ambiente SIG, possibilitando a elaboração de um mapa temático para visualização da distribuição espacial das áreas com maior ou menor Capacidade de Suporte.

5.3.3.2. Álgebra de Mapas

Nesta etapa, serão descritos os procedimentos adaptados da versão original da metodologia Luso-Brasileira, para a obtenção do mapa final de Capacidade de Suporte, elaborado a partir de uma álgebra de mapas. Para isso, foram utilizados todos os mapas temáticos obtidos até esse momento dos caminhos metodológicos,

excluindo apenas o mapa obtido através dos dados censitários descritos no item anterior (item 5.3.3.1).

Desta forma, os mapas foram inseridos em ambiente SIG com os atributos referentes às suas informações, onde todos os mapas foram convertidos para a mesma escala de análise, a escala 1:10.000 (como citado no item 5.2), adotando o sistema de projeção cartográfica UTM com Datum SIRGAS 2000 e Fuso 23S.

Após esse procedimento, foi necessário criar uma coluna para adicionar os valores ponderados, para cada um dos atributos existentes em cada mapa, seguindo o mesmo padrão observado no Quadro 6. Nesse caso, para cada mapa foi atribuído o percentual de influência pelo nível de Capacidade de Suporte de cada produto cartográfico. Assim, cada mapa temático utilizado teve que ser normalizado nas 5 (cinco) classes estabelecidas, onde para isso cada mapa teve que ser submetido a processos diferentes de normalização.

Os valores de percentuais de influência de cada mapa utilizado na análise final de Capacidade de Suporte podem ser visualizados na Tabela 5, com as novas adaptações pela metodologia da escola brasileira e, aplicada para a transformação dos dados de cada mapa nos cinco níveis de influência estabelecidos.

Os caminhos metodológicos propostos, nesta Tese pela escola brasileira, foram:

- a) a análise estatística (indicadas no item 5.3.3.1);
- b) a classificação pela média menos o desvio padrão, que mostra o quanto o valor de atributo da feição varia a partir da média permitindo-se enfatizar valores acima e abaixo da média, e por último;
- c) a técnica de densidade de Kernel, pelo método de transformação das informações vetoriais em informações matriciais.

Concordando textualmente com Câmara e Carvalho (2004), a Densidade de Kernel consiste em examinar o comportamento dos padrões pontuais, estimando a intensidade pontual do processo em uma região de estudo, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse, por meio de um ajuste de uma função bidimensional dos eventos considerados, compondo uma superfície da qual o valor será proporcional das amostras por unidade de área.

Assim, para os mapas utilizados nesse trabalho, pelo método de densidade de Kernel, considerou que: a) quando as feições de entrada eram pontos, as distâncias

foram medidas utilizando o método geodésico; **b)** se as feições de entrada eram linhas, as distâncias foram medidas utilizando o método planar.

Tabela 5 - Mapas e Influências Utilizadas para Álgebra de Mapas de Capacidade de Suporte

MAPA DE CAPACIDADE DE SUPORTE					
Mapa dados do Censo/IBGE Metodologia: Análise Estatística		Mapa Ocorrência de Desastres (CPRM) Metodologia: Densidade de Kernel		Mapa de Equipamentos Urbanos (Presença de base de Polícia, Hospitais, Escolas, Sistema Muralha e iluminação pública) Metodologia: Densidade de Kernel	
Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)
Muito Alta (CS)	5	Muito Alto Risco	1	Local	5
Alta (CS)	4	Alto Risco	2	Alta proximidade	4
Média (CS)	3	Médio Risco	3	Média Proximidade	3
Baixa (CS)	2	Baixo Risco	4	Baixa Proximidade	2
Muito Baixa (CS)	1	Muito Baixo Risco	5	Muito Baixa Proximidade	1
Mapa de Equipamentos Urbanos (Pavimento asfalto) Metodologia: Densidade de Kernel		Mapa de Equipamentos Urbanos (Pavimento Terra e Bloquete) Metodologia: Densidade de Kernel		Mapa de Hidrografia (Proximidade de corpos d'água) Metodologia: Densidade de Kernel	
Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)
Local	5	Local	1	Local	1
Alta proximidade	4	Alta proximidade	2	Alta proximidade	2
Média Proximidade	3	Média Proximidade	3	Média Proximidade	3
Baixa Proximidade	2	Baixa Proximidade	4	Baixa Proximidade	4
Muito Baixa Proximidade	1	Muito Baixa Proximidade	5	Muito Baixa Proximidade	5
Mapa de Área de Proteção Ambiental Metodologia: Densidade de Kernel		Mapa de declividade (%) Metodologia: Classificação pela média menos o desvio padrão		Mapa de altitude (metros) Metodologia: Classificação pela média menos o desvio padrão	
Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)	Classes	Influência (CS)
Local	1	0 – 7,1	5	704 - 843	5
Alta proximidade	2	7,2 - 13	4	843 - 983	4
Média Proximidade	3	14 - 21	3	983 – 1123	3
Baixa Proximidade	4	22 - 32	2	1123 – 1263	2
Muito Baixa Proximidade	5	33 - 65	1	1263 - 1403	1
Mapa de Uso e Ocupação do Solo Metodologia: Classificação pela média menos o desvio padrão					
Classes	Influência (CS)				
Área Urbana	5				
Ocupação Humana (fora da área urbana)	4				
Pasto e Solo Exposto	3				
Vegetação Hidromórfica	2				
Vegetação Nativa	1				

Fonte: Autor (2022)

Após esse procedimento, todos os mapas, no ambiente SIG tiveram que ser convertidos para o formato matricial (raster), baseados no atributo de ponderação desejado, para que pudesse ser criada a álgebra de mapas. A proposta para esse procedimento pode ser visualizada na Figura 12 contendo informações utilizadas para a obtenção da álgebra de mapas, onde os mapas, foram somados pela ferramenta *Raster Calculator* do Arcgis, fornecendo pesos iguais (peso 1), simbolizando que todos possuem a mesma importância, neste momento, durante a inferência espacial para a obtenção do mapa final de Capacidade de Suporte.

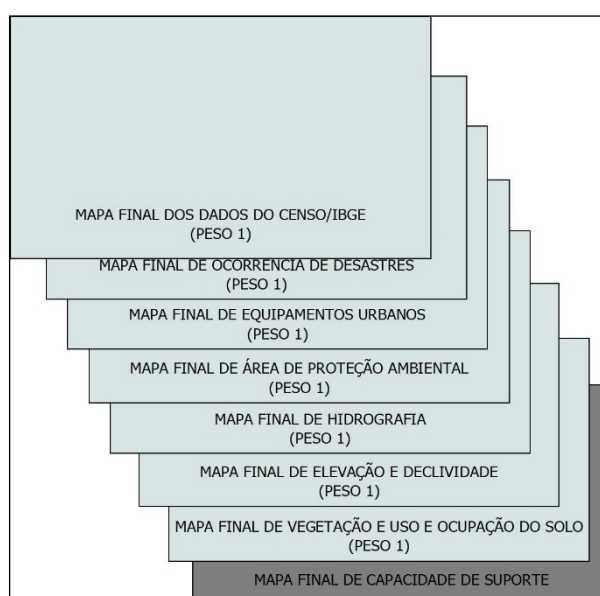


Figura 12 - Concepção Teórica da Álgebra de Mapas
Fonte: Autor (2022)

Na sequência, foi realizada uma sobreposição com as fotografias aéreas de alta resolução adquiridas, para uma aferição parcial dos dados e dos resultados obtidos. Essa busca de correlação se deu na intenção de validar as metodologias aplicadas, até o momento, certificando-se que elas se aproximam da situação real observados no ambiente das diferentes paisagens do município.

5.3.4. Mapeamento das vulnerabilidades social e ambiental

Após a elaboração dos mapas de criticidade e capacidade de suporte do município, as informações foram agrupadas e calculadas por meio do método *natural break de jenks*, disponível no SIG, e reclassificados em 5 (cinco) classes de

vulnerabilidade - (1) muito baixa, 2 (baixa), 3 (média), 4 (alta) e 5 (muito alta), de acordo com os intervalos das classes dos setores, conforme já apontado no Quadro 5 e também no Quadro 6.

Na sequência da obtenção dos dados de C e CS realizou-se o cálculo para se obter as classes de vulnerabilidade através da equação 3:

$$\mathbf{VSA = C \times CS} \qquad \text{Eq.3}$$

Sendo:

VSA = Vulnerabilidade Social e ambiental

C = Criticidade

CS = Capacidade de Suporte

Esse procedimento deu-se pela ferramenta *Raster Calculator* do Arcgis, onde foi possível obter o resultado a Vulnerabilidade Ambiental e Social do município estudado (Figura 34), cujo mapa apresenta as 5 (cinco) áreas de vulnerabilidade: (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta e (5) muito alta.

5.4. Álgebra de Mapas por Análise Multicritério à Decisão (AMD) e Integração dos dados pelo Processo Analítico Hierárquico – (AHP)

A partir do Mapa Síntese intermediário de VSA, iniciou-se a aplicação de álgebra de mapas, em ambiente SIG, por meio AMD e; a integração de dados pela AHP, para obter uma nova cartografia de síntese da VSA do município, tendo como base os pesos hierárquicos atribuídos conforme o grau de influência no fenômeno modelado.

A) 1ª etapa: Critérios e Mensuração das Matrizes de Consistências dos Julgamentos

A primeira etapa da aplicação da AHP (Quadro 7) consistiu na estruturação dos critérios hierarquizados, a partir de uma matriz de comparação pareada 4x4. Esses critérios correspondem à quantidade de variáveis selecionadas e organizadas na mesma ordem de disposição sob forma de linhas (i) e colunas (j), cuja leitura obedece a este sentido e tem como parâmetro a classificação da AHP com valores de importância de 1 a 9 (SAATY, 2005, 2006; WOLFF, 2008; GIGOVIC et al., 2009;

VARGAS, 2010; RIBEIRO e ALVES, 2016; MATERANO e BRITO, 2020; ZACHARIAS *et al.*, 2021, SANTOS, 2022).

Quadro 7 - Classificação da AHP

Análise Hierárquica de Processos (AHP)	
Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível (9).
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty (2006, p. 86).

No geral, uma matriz de comparação pode ser compreendida pelo número de variáveis (n) em relação aos critérios analisados (C), em que o valor de comparação corresponde a a_{ij} obtido a partir da avaliação de para um determinado objetivo a ser modelado. Na montagem da matriz as relações são recíprocas entre as variáveis, considerando que $a_{ij} = x$, logo, $a_{ji} = 1/x$. Na diagonal da matriz, a comparação entre as mesmas variáveis corresponde ao valor de 1 - importância igual, por ser uma mesma variável (SAATY, 2005, 2006; VARGAS, 2010; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020). A Tabela 6 exemplifica uma matriz de comparação.

Tabela 6 - Matriz de Julgamento

C	n_1	n_2	...	n_n
n_1	1	a_{12}	...	a_{1n}
n_2	$1/a_{21}$	1	...	a_{2n}
...
n_n	$1/a_{n1}$	$1/a_{n2}$...	1

Fonte: Zacharias *et al.* (2021), adaptado de Ribeiro e Alves (2016)

Na sequência iniciou-se a avaliação corresponde à somatória dos valores obtidos pela comparação pareada, inicialmente pela soma dos julgamentos das variáveis n_j ($\sum n_j$) e, posteriormente com o resultado obtido das variáveis julgadas, realizou-se o processo de normalização da matriz (V_i), feita a partir dos valores de cada linha em razão da somatória de cada coluna como apresenta a equação 4:

$$V_i = n_i / \sum n_j \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

V_i = valor de normalização

n_i = o valor de cada linha

$\sum n_j$ = somatório das colunas de cada variável.

A veracidade da matriz normalizada foi verificada a partir do somatório de todas as colunas. Posteriormente, calculou-se o vetor de prioridade em porcentagem (%), por meio do somatório de todas as linhas da matriz, em que o resultado é dado pela média aritmética entre os valores e expressa o percentual relativo das prioridades em relação ao objetivo de estudo. Ressalta-se que, nesta etapa, a somatória dos vetores de prioridade deve ser igual a 1 ou na transformação para porcentagem, igual a 100% (SAATY, 2005, 2006). A equação 5 ilustra esta etapa:

$$V_p = \sum a_i / n \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

V_p = corresponde ao vetor de prioridades

$\sum a_i$ = corresponde ao somatório das linhas normalizadas e

N = corresponde ao número de variáveis.

Ao final, adotou-se os parâmetros estipulados por Saaty (2005) para calcular a consistência dos valores, atribuídos pelos julgamentos entre as variáveis da matriz de comparação gerada, considerando que o valor de tolerância máxima deve ser igual ou menor 10% (0,10) para comprovar sua consistência. Desta forma, calcula-se o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{Max}), somando as linhas da matriz normalizada ($\sum a_i$) pelo número (n) de variáveis julgadas. A partir desses valores, obteve-se o Índice de Consistência (IC), conforme mostra a Equação 6.

$$IC = (\lambda_{Máx} - n) / (n - 1) \quad \text{Eq. 6}$$

A Razão de Consistência (RC), Equação 7, foi dada pelo Índice Aleatório (IA), que corresponde aos valores dados à consistência de uma matriz recíproca gerada aleatoriamente em uma escala de 1 a 9, conforme indica a Tabela 7 (SAATY, 2006). O valor de RC deve ser igual ou menor que 0,10, para que seja estatisticamente validado.

Resultados com valores diferentes exigem na matriz de julgamento (equação 4). Para este trabalho, o valor de RC foi de 0,06 confirmando a validade do modelo adotado. A Tabela 8, ilustra a matriz de julgamento elaborada para a modelagem das áreas vulneráveis do município de Atibaia.

$$RC = IC/IA$$

Eq. 7

Tabela 7 - Índices aleatórios em matrizes para AHP

Tamanho da matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11
Valores aleatórios	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

Fonte: Adaptado de Saaty (2006)

Tabela 8 - Matriz de Julgamento para a Modelagem das áreas de vulnerabilidade social e ambiental

Critérios	VSA	CPRM	Saúde	UCT	Muralha	Asfalto	DCH	Iluminação	Declividade
VSA	1,00	2,00	6,00	3,00	6,00	6,00	4,00	6,00	3,00
CPRM	0,50	1,00	5,00	3,00	5,00	5,00	5,00	6,00	4,00
Saúde	0,17	0,20	1,00	0,20	0,50	0,50	0,50	1,00	0,25
UCT	0,33	0,33	5,00	1,00	6,00	6,00	5,00	6,00	4,00
Muralha	0,17	0,20	2,00	0,17	1,00	1,00	0,25	1,00	0,25
Asfalto	0,17	0,20	2,00	0,17	1,00	1,00	0,50	0,50	0,25
DCH	0,25	0,20	2,00	0,20	4,00	2,00	1,00	2,00	0,25
Iluminação	0,17	0,17	1,00	0,17	1,00	2,00	0,50	1,00	0,25
Declividade	0,33	0,25	4,00	0,25	4,00	4,00	4,00	4,00	1,00
Soma	3,08	4,55	28,00	8,15	28,50	27,50	20,75	27,50	13,25

Fonte: Rizato (2022)

B) 2ª etapa: Geração da Modelagem Ambiental (Álgebra de Mapas)

Concluídos todos os procedimentos supracitados, para obter a modelagem cartográfica ambiental dos ambientes com os riscos hidrológicos e hidrogeológicos, aplicou-se a Equação 8 em ambiente SIG, utilizando a ferramenta *Weighted Overlay* do ARCGIS. Importante destacar que as influências e os pesos considerados nos mapas seguem os padrões citados, na Tabela 9.

$$(mapa\ 1 * 27.) + (mapa2 * 23) + (mapa3 * 3) + (mapa\ 4 * 19) + (mapa\ 5 * 4) + (mapa\ 6 * 4) + (mapa\ 7 * 6) + (mapa\ 8 * 4) + (mapa\ 9 * 12) / 100$$

Eq. 8

Onde:

mapa 1 = Mapa de Vulnerabilidade social e ambiental modelado;

mapa 2 = Mapa de ocorrência de desastres registrados pelo CPRM;

mapa 3 = Mapa de proximidade de hospitais e postos de saúde;

mapa 4 = Mapa de uso, ocupação e cobertura da terra;

mapa 5 = Mapa da área de monitoramento do sistema Muralha;

mapa 6 = Mapa de localização de ruas com asfalto no município;

mapa 7 = Mapa de distância dos corpos Hídricos;

mapa 8 = Mapa de pontos com iluminação pública;

mapa 9 = Mapa de declividade.

IF = corresponde aos pesos (em %) resultantes da matriz de julgamento.

Tabela 9 - Influências e Pesos para a Integração dos Dados – Álgebra de Mapas

Mapas temáticos	Influência relativa	Reclassificação	Peso	Grau de suscetibilidade
VSA	25%	Muito alto	5	Muito alto
		Alto	4	Alto
		Médio	3	Médio
		Baixo	2	Baixo
		Muito baixo	1	Muito baixo
CPRM Densidade de Kernel	23%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Mapa de Equipamentos Urbanos (Hospitais) Densidade de Kernel	3%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Uso e cobertura da terra	19%	Malha Urbana	5	Muito alto
		Ocupação Urbana	4	Alto
		Pasto e Solo exposto	3	Médio
		Vegetação Hidromórfica	2	Baixo
		Vegetação Nativa	1	Muito Baixo
Mapa de Equipamentos Urbanos (Muralha) Densidade de Kernel	4%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Mapa de Equipamentos Urbanos (Asfalto) Densidade de Kernel	4%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Mapa de Hidrografia (Proximidade de corpos d'água) Densidade de Kernel	6%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Mapa de Equipamentos Urbanos (iluminação pública) Densidade de Kernel	4%	Local	5	Muito alto
		Alta Proximidade	4	Alto
		Média Proximidade	3	Médio
		Baixa Proximidade	2	Baixo
		Muito Baixa Proximidade	1	Muito baixo
Declividade (%)	12%	33-65	5	Muito alto
		22-32	4	Alto
		14-21	3	Médio
		7,2-13	2	Baixo
		0,71	1	Muito baixo
Total	100	-	-	

Fonte: Autor (2022)

A integração de dados deste procedimento é fundamental por permitir a análise integrada da VSA aos mapas que caracterizam o meio físico, assim como, aos mapas de sínteses das áreas com suscetibilidades aos riscos de desastres no município, contribuindo assim para futuras propostas com medidas mitigadoras que podem auxiliar no (re)ordenamento territorial vinculados ao Plano Diretor Municipal.

5.5. Elaboração do Cenário Gráfico da Cartografia de Síntese e as Estruturas Verticais e Horizontais do Ambiente na Paisagem Urbana

A partir da Síntese gerada pela álgebra de mapas e inferência espacial pelos modelos AMD e AHP, foi organizado o cenário gráfico da Cartografia de Síntese com a perspectiva de inventariar as VSA das paisagens urbanas susceptíveis aos riscos. O inventário da paisagem buscou representar as dimensões (x,y,z,t) e as estruturas (verticais e horizontais) dos ambientes inseridos na paisagem, adotando a proposta metodológica apresentada por Zacharias e Ventorini (2021) e Zacharias *et al.* (2021).

Assim, as Escalas Taxonômicas (estruturas verticais) foram hierarquizadas e segmentadas em 5 classes, sendo: (5) muito alto; (4) alto; (3) média; (2) baixo e (1) muito baixo. Ao passo que, os componentes e elementos geográficos (estruturas horizontais) foram reorganizados em subclasses, considerando: a) a criticidade e capacidade de suporte; b) a densidade urbana; c) a declividade e; d) o histórico de ocorrência do fenômeno, por individualizarem as diferentes intensidades de VSA e suas suscetibilidades aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos no ambiente da paisagem urbana de Atibaia/SP.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Mapas temáticos

Nesta etapa, serão discutidos e apresentados os resultados da elaboração dos mapas temáticos analíticos produzidos para as metodologias que envolveram este trabalho. Estes mapas apresentam grande importância, pois serão a base para um maior entendimento da área de estudo, assim como também, suas análises serão incorporadas como base de dados para a confecção da cartografia de síntese, final deste trabalho.

6.1.1. Mapas de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra

Como explicado no item 5.2.1 foram utilizados Mapas de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra, dos anos de 2009 e 2013, os quais apresentam algumas diferenças em seus resultados, por abrangerem épocas diferentes, onde a dinâmica de uso, ocupação e cobertura passaram por mudanças espaciais e temporais, assim como por abrangerem métodos de elaboração e as fontes de dados distintos.

Assim, o Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra de 2009 (Figura 13), apresenta apenas 3 (três) classes temáticas, sendo: áreas urbanas (15,1% da área total do município), vegetação rasteira (43,2%) e floresta densa (41,7%), respectivamente.

Ao passo que o Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra de 2013 (Figura 14), apresenta 9 (nove) classes temáticas, uma vez que foi elaborado com base em imagens aerofotogramétricas de alta resolução, permitindo-se discriminar uma variabilidade maior de feições. As classes, apresentadas para este cenário (2013), foram: malha urbana (18,7% de toda a área do município), área verde (0,8%), pasto limpo (24,6%), pasto sujo (5,7%), solo exposto (3,4%), vegetação hidromórfica (3,2%), vegetação nativa (28,9%), afloramento rochoso (0,8%) e, áreas de agricultura e reflorestamento (13,9%).

Todavia, nesta análise é importante destacar que a elaboração do mapa mais recente (2013) foi facilitada pela estrutura presente no mapeamento anterior, onde algumas feições gerais puderam ser utilizadas e comparadas, como o caso da malha urbana e das áreas totais de vegetação. Contudo, para a modelagem cartográfica e ambiental final deste trabalho, somente a classe “malha urbana” pôde ser comparada entre os dois períodos, apresentando acréscimo de 3,6%. Já as demais classes temáticas, específicas, não puderam ser comparadas individualmente, pelas diferentes metodologias de mapeamento.

Na análise espacial dos dados do Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra de 2013, observa-se que a maior área é a de vegetação nativa, seguida por áreas de pasto com a somatória total aproximada de 62,5%. Estas áreas estão bem distribuídas por todo o município, com predominância nas áreas mais elevadas e próximos a corpos d'água. Já as áreas de ocupação

urbana estão localizadas, em sua maioria, na parte central com algumas ocorrências nas regiões mais periféricas de todo o perímetro municipal.

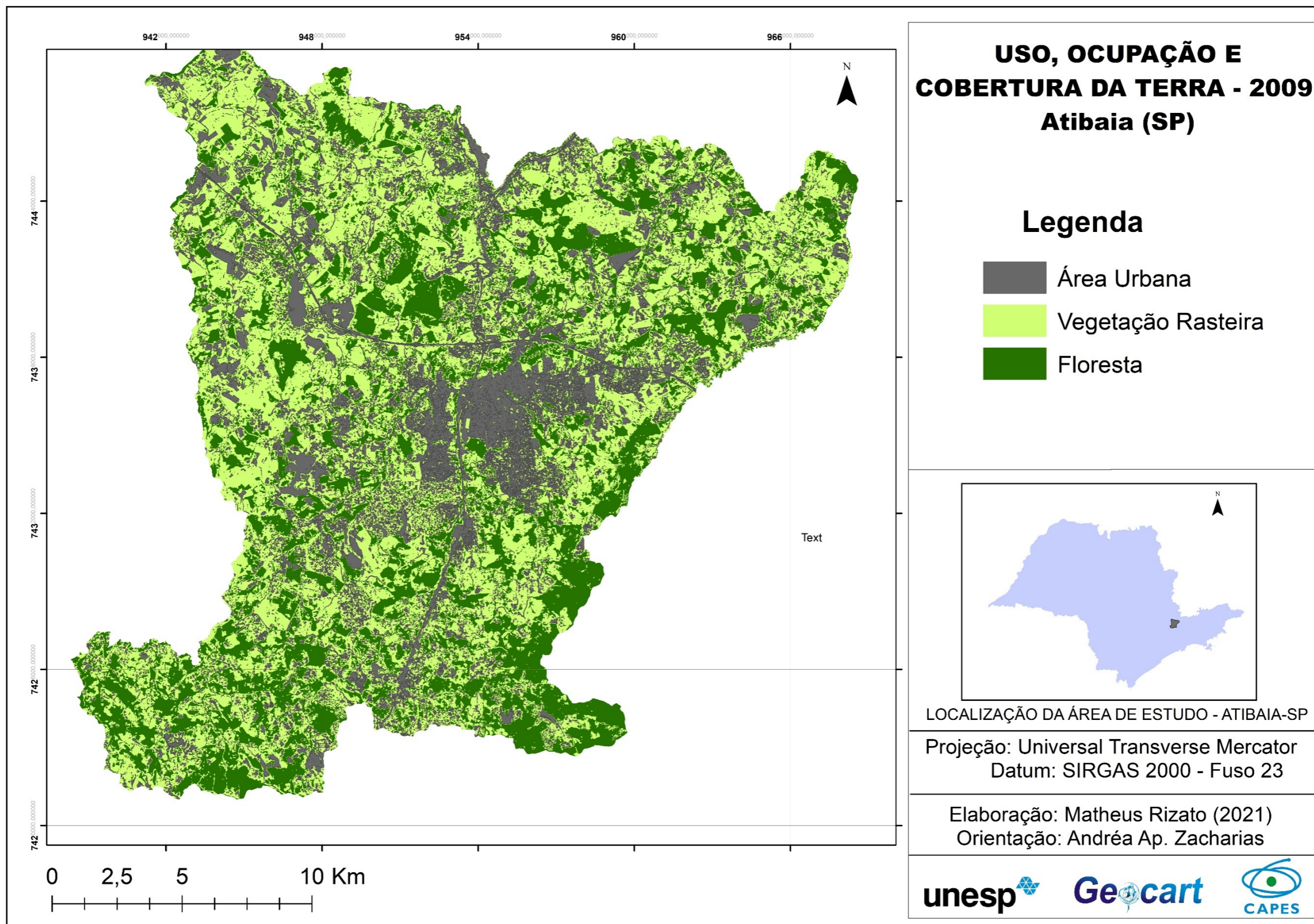


Figura 13 - Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra - 2009
Fonte: Autor (2021), elaborado com dados da Secretaria de Mobilidade e Planejamento de Atibaia

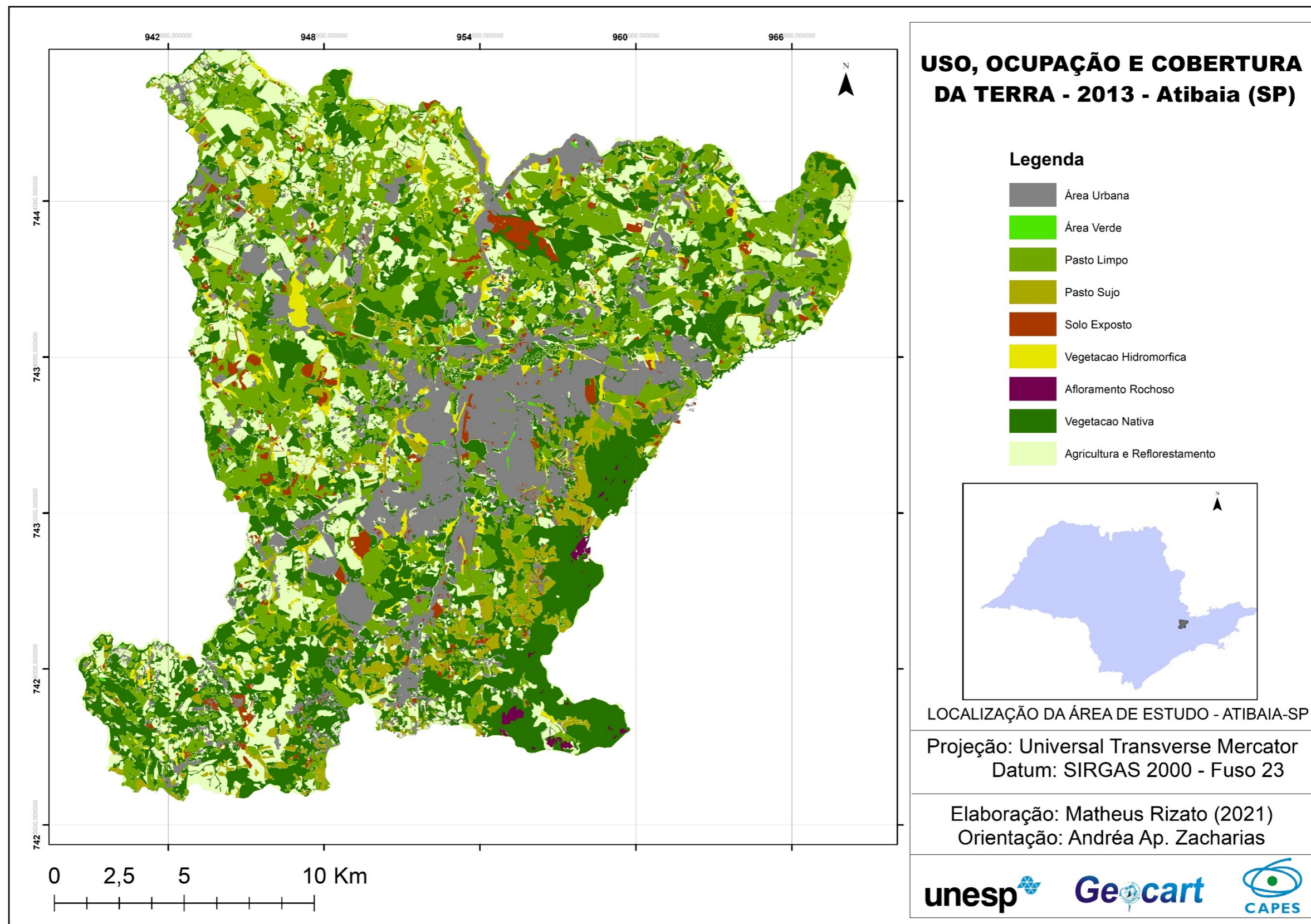


Figura 14 - Mapa de Cobertura Vegetal e do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra - 2013
Fonte: Autor (2021), elaborado com dados da Secretaria de Mobilidade e Planejamento de Atibaia

6.1.2. Mapas Hipsométrico e de Declividade

O Mapa Hipsométrico - Mapa de Elevação (Figura 15), elaborado através dos dados do levantamento aerofotogramétrico realizado em 2013, mostra que o município tem uma variação altimétrica considerável, partindo do mínimo aproximado de 700 metros, em relação ao nível do mar, até pontos mais altos com 1.402 metros de altitude. Também, destaca que a maior parte do município se encontra entre 781 e 859 metros de altitude. Além disso, observa que as áreas mais altas estão localizadas, principalmente, na parte leste do município e variam entre 1.100 e 1.400 metros. Na parte onde se encontra o perímetro urbano, há o predomínio de áreas mais baixas, que variam entre 700 a 860 metros, principalmente na parte central do município, onde se encontram os principais rios urbanos e o maior adensamento populacional.

Já para pelo Mapa de Declividade (Figura 16) percebe-se que toda a área apresenta variação entre 0 e 65%, sendo os maiores valores de declividade, entre 30% e 64%, observados na parte leste e sudeste do município. Ainda no perímetro urbano, um aspecto relevante é que sua evolução se deu acompanhando a rede de drenagem mais expressiva, justificando assim um valor de declividade menor, variando entre 0 e 17%, na parte central. Inclusive, são áreas com maior probabilidade de eventos hidrológicos como enchentes e alagamentos, por serem regiões de várzeas e próximas a rios. Vale ressaltar também, que em algumas áreas urbanas, mais afastadas do centro, ocorrem valores de declividade maiores, variando entre 25% e 65%. Essas áreas, são geralmente as que apresentam maior probabilidade de ocorrência de eventos hidrogeológicos como os movimento e/ou deslizamentos de massa.

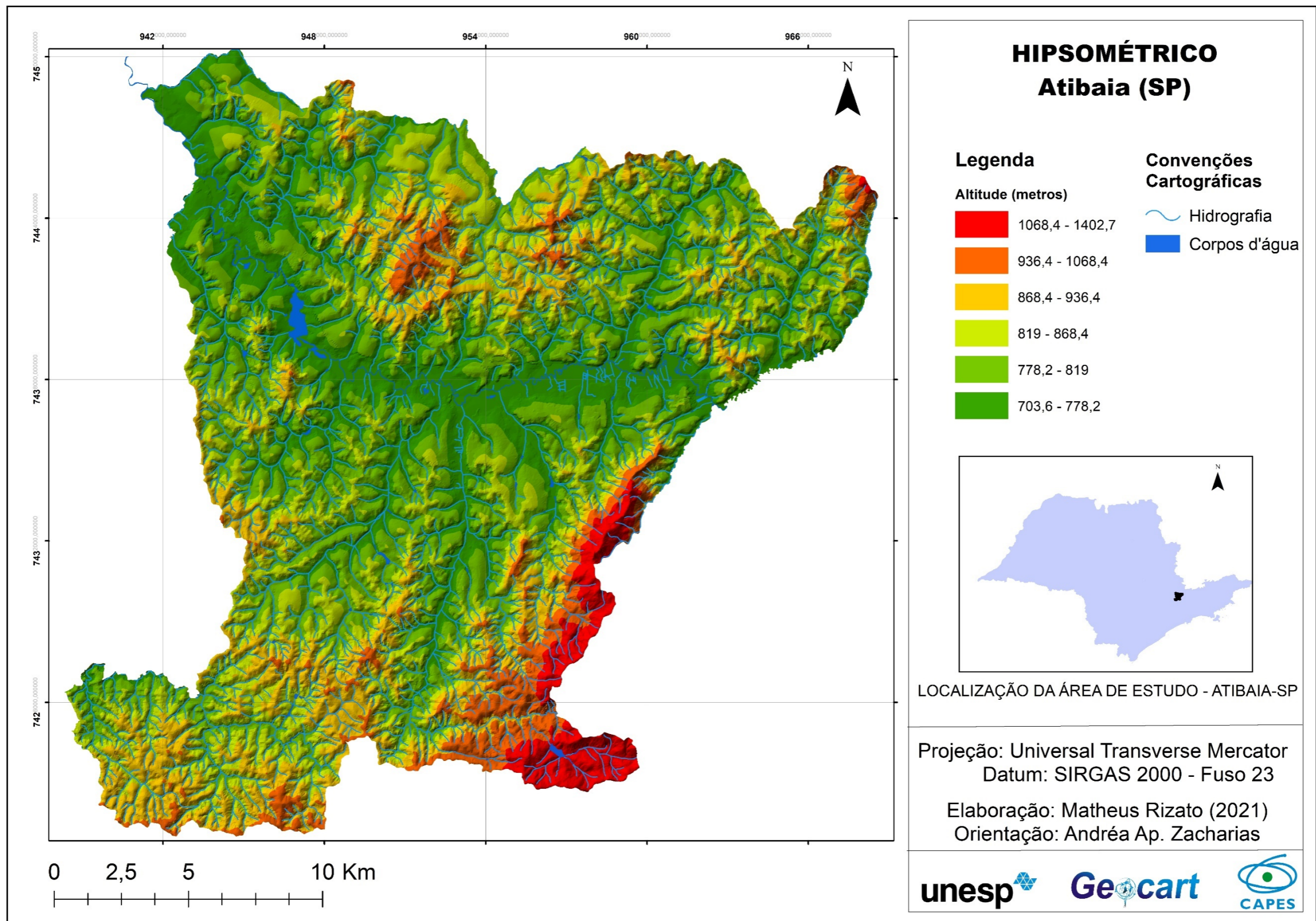


Figura 15 - Mapa Hipsométrico
 Fonte: Autor (2021)

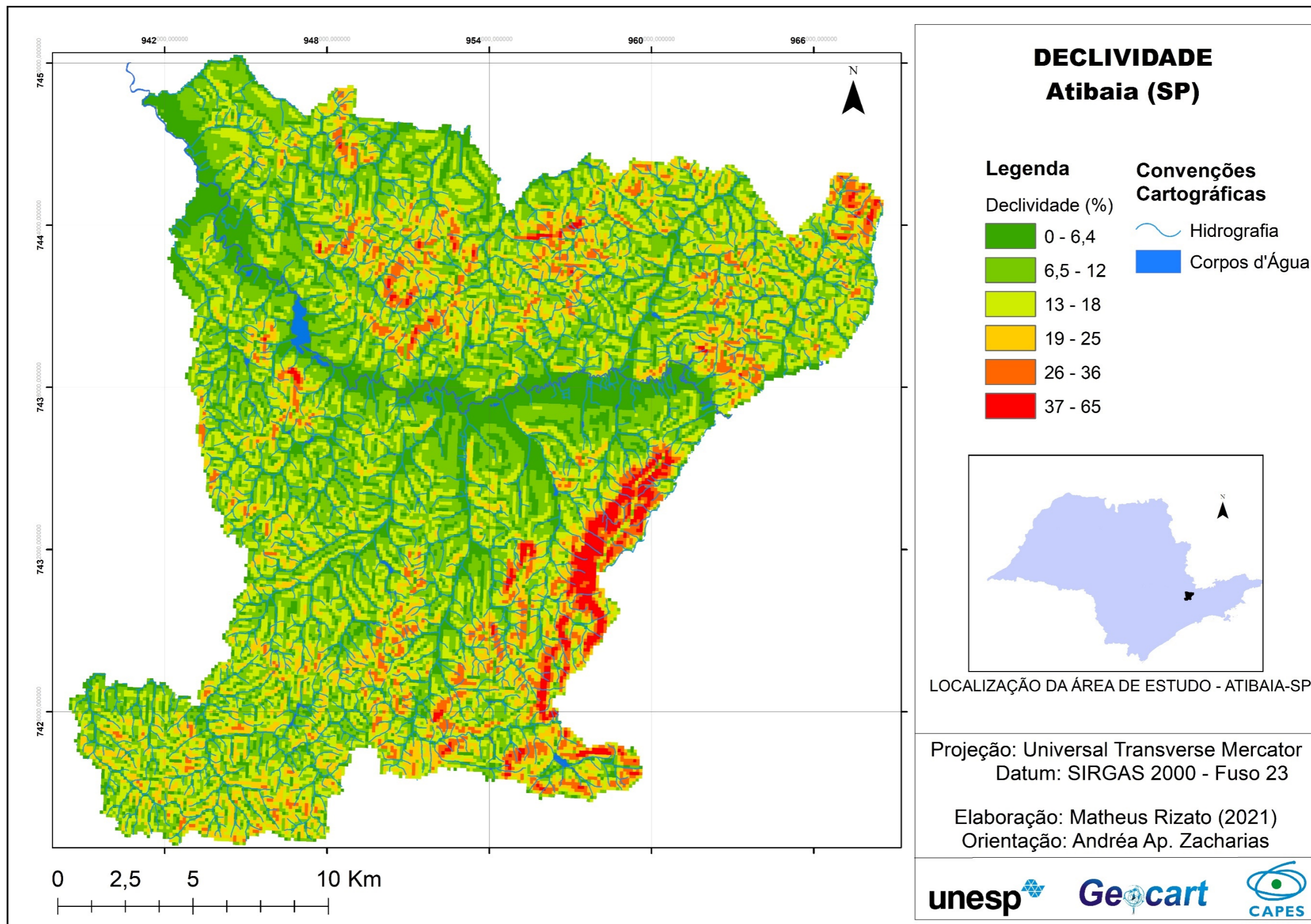


Figura 16 - Mapa de Declividade
Fonte: Autor (2021)

6.1.3. Mapas de Hidrografia

O Mapa de Hidrografia de Atibaia/SP (Figura 17), evidencia um total de 1.443 rios e tributários, onde a grande maioria por atravessar a área urbana potencializa as áreas de alagamento, no espaço urbano. O rio principal, o Atibaia, corta o município de leste a oeste, em todo o seu perímetro. Em seu entorno e ao longo de sua extensão, nota-se um volume elevado de ocupações urbanas, sendo essas as mais afetadas, em momentos, que o rio aumenta a sua vazão, ocasionando os eventos de alagamentos no município.

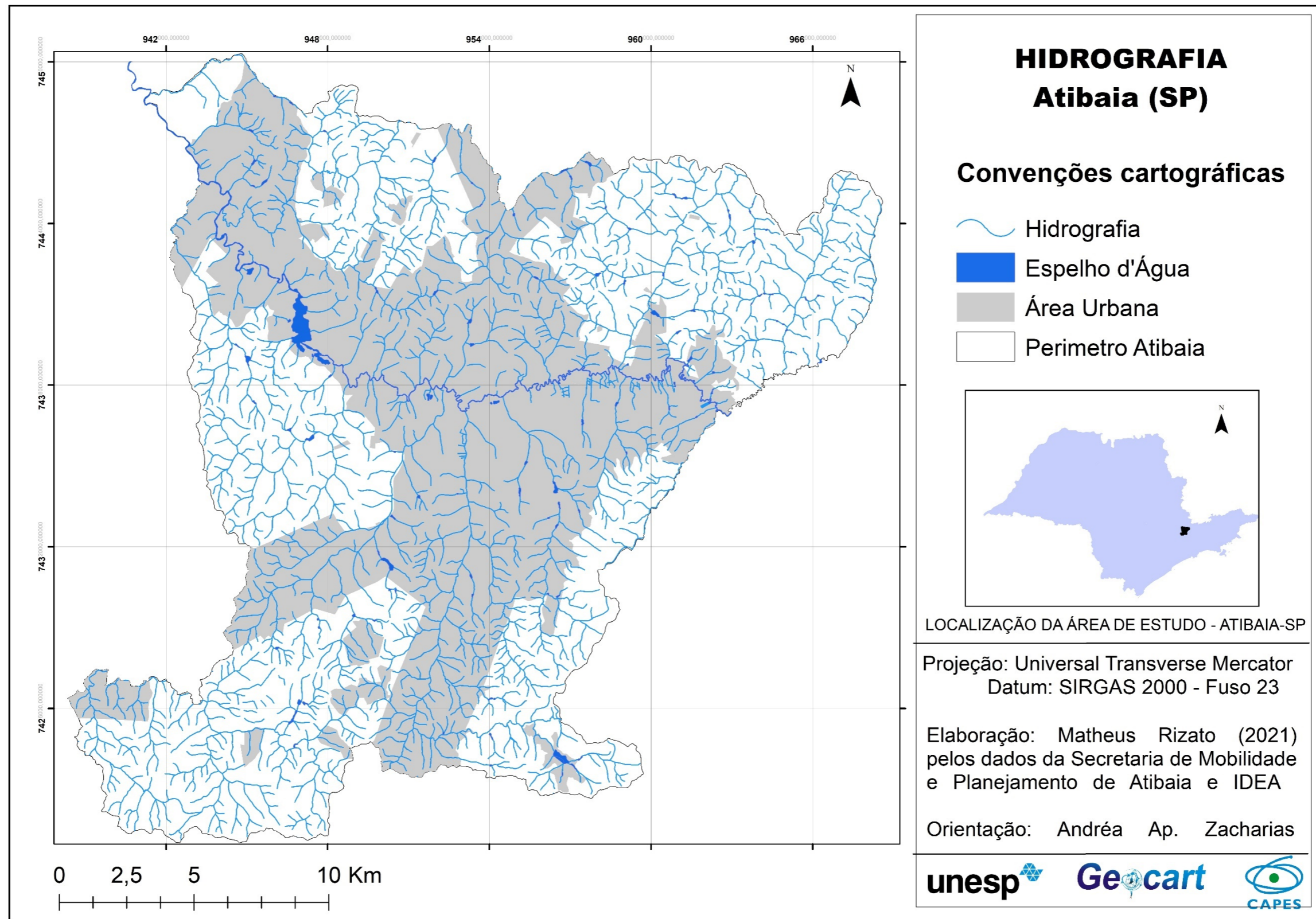


Figura 17 - Mapa de Hidrografia

Fonte: Autor (2021) elaborado com dados da Secretaria de Mobilidade e Planejamento de Atibaia e IDEA 2020

6.1.4. Mapas das Áreas de Proteção Ambiental

Os mapeamentos das Áreas de Proteção Ambiental, também, são de grande importância para essa análise, uma vez que permite identificar a influência das ações antrópicas existentes na área de estudo em áreas de proteção.

Entre as unidades mapeadas, encontram-se a Área de Proteção Ambiental Sistema Cantareira, que foi criada em 1998 e, abrange uma grande área abarcando os municípios de Mairiporã, Atibaia, Nazaré Paulista, Piracaia, Joanópolis, Vargem e Bragança Paulista, todos localizados no Estado de São Paulo. Esta APA foi criada para a proteção dos mananciais hídricos que abastecem os reservatórios de Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro e, também, para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), além de regular o fluxo de água para a Região Metropolitana de Campinas. (SÃO PAULO, 2000).

Outra área de proteção ambiental do município é a APA Represa da Usina, que segundo a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (2020), é composta pela barragem do rio Atibaia, que foi criada em 1928 com a construção da usina hidrelétrica de Atibaia. A usina controlava a vazão do rio e as enchentes, além de garantir a geração de energia da cidade. A usina encerrou as atividades em 1970 e, em 1986 a localidade foi declarada área de preservação ambiental, com o objetivo de proteger os mananciais responsáveis pelo abastecimento do município. A APA do Rio Atibaia, foi criada em 2015 e corresponde a uma área de preservação do principal rio do município que atravessa todo o seu território, sendo responsável por parte dos eventos de enchentes e enxurradas que ocorrem na cidade.

O Monumento Natural da Pedra Grande é constituído por um afloramento granítico com cerca de 500 milhões de anos, que abriga ampla comunidade vegetal composta por espécies florestais e campestres, algumas raras ou endêmicas. Esta localidade é considerada um importante ponto turístico do município, de Atibaia/SP, pois possui um Monumento Natural Estadual público e o Parque Estadual de Itapetinga. O parque Florestal do Itapetinga, criado através da Lei municipal de Atibaia nº 2293 no ano de 1988, tem por finalidade a proteção integral e permanente da flora, fauna e demais recursos naturais, assim como da beleza cênica da sua paisagem natural. A lei também determina que o uso do local é exclusivo para fins científicos, culturais, educativos e recreativos (Atibaia, 1988).

A área demarcada no mapa como correspondente a Lei Complementar nº580, define que a partir da sua criação, no ano de 2008, garante a existência de regras específicas para o ordenamento urbanístico e ambiental na Estância de Atibaia. Entre essas diretrizes se destaca que o uso e ocupação da área deverá ser realizado de forma a minimizar os impactos negativos causados pelas ações humanas às estruturas de assentamentos, aos recursos naturais, à biota, às conformações fisiográficas e ambientais em geral (Atibaia, 2008).

Além dessas reservas, Atibaia/SP, ainda, conta com algumas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), que segundo o ICMBIO (2020) constitui em uma unidade de conservação ambiental de propriedade particular, onde o proprietário assume o compromisso de conservar a natureza do local. Entre elas foram mapeadas a *Ecoword*, Reserva do Jacú, a Reserva do Dadinho e o Sítio Solar da Montanha. A Figura 18 evidencia as áreas de proteção ambiental existentes no município de Atibaia/SP.

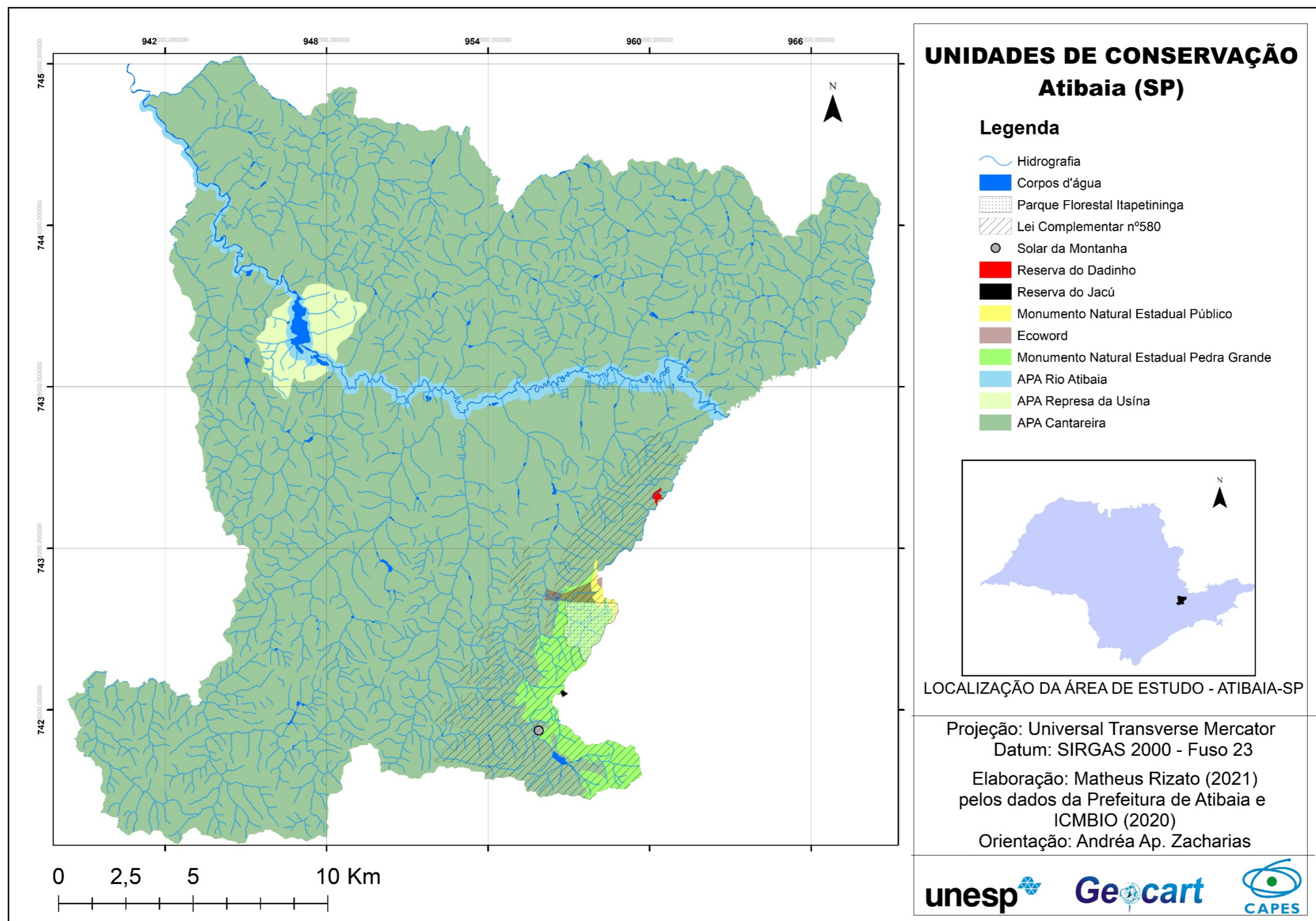


Figura 18 - Mapa das unidades de conservação
Fonte: Autor (2021), elaborado através dos dados da Prefeitura de Atibaia e ICMBIO

6.1.5. Mapas dos Equipamentos Urbanos

Com base nos procedimentos explicitados no item 5.2.5, obtiveram 3 (três) mapas com os principais equipamentos urbanos presentes no município, a fim de poder identificar quais regiões são mais ou menos vulneráveis a potenciais eventos de risco para a população presente.

Para o **Mapa de Equipamentos Urbanos 1** (Figura 19), após a inserção de dados do perímetro urbano oficial e a localização das principais ruas e avenidas do município, foram contabilizadas 8.844 vias públicas em todo o perímetro do município. Dentre estas, segundo dados da prefeitura municipal, aproximadamente 5.000 vias são consideradas asfaltadas, 3.630 são de terra, 170 de paralelepípedo e 32 são construídas por bloquetes. Tais informações, quando espacializadas, tornam-se relevantes por ilustrarem o quanto cada região apresenta em equipamentos diante do enfrentamento de enfrentar possíveis situações de perigosidades e suscetibilidades frente ao risco. Como exemplo, a existência ou não de vias asfaltadas em determinada localidade não é um fator relacionado apenas ao enfrentamento do risco. Mas quando associadas a outros elementos, se torna outra informação importante para analisar a questão dos alagamentos, inundações, entre outros, tornando assim um fator que pode ampliar as ocorrências de problemas hidrológicos.

Outro dado relevante apresentado, é a localização espacial das bases de polícia, hospitais ou prontos socorros no município. A presença dessas informações, assim como a sua espacialidade, auxilia nessa análise, haja vistas que estes equipamentos urbanos contribuem no monitoramento e no atendimento das populações atingidas por desastres. Além disso, o conhecimento espacial das escolas no município, permitem a identificação e visualização de pontos de abrigo para possíveis populações atingidas por esses eventos.

O **Mapa de Equipamentos Urbanos 2** (Figura 20), apresenta os pontos de iluminação pública do município, que também é um importante indicador da situação da infraestrutura de cada área, pois auxilia a população afetada em casos de eventos de risco. Além disso, também é possível observar a área de abrangência do sistema de monitoramento do sistema Muralha 1 e 2, que consiste em câmeras de vigilância preparadas para vigiar determinadas áreas da cidade. Desta forma, a grande

vantagem da presença desse tipo de monitoramento é sua contribuição em fornecer ao poder público, pleno acompanhamento em áreas de potencial risco a desastres.

O **Mapa de Equipamentos Urbanos 3 (Erro! Fonte de referência não encontrada.**Figura 21), traz os imóveis existentes no município, onde tornam-se importantes, nesta análise, por permitirem a identificação e a contabilização das edificações presentes em áreas de risco. Assim, possibilita um panorama de quantas pessoas estão presentes em cada área de risco, além de servir de suporte para o poder público traçar estratégias e mecanismos para criar políticas públicas voltadas ao enfrentamento dos problemas relacionados as áreas vulneráveis. No total, foram contabilizados 26.623 polígonos, simbolizando as edificações que variam entre diferentes tipos de moradias, indústrias, estabelecimentos comerciais e públicas, presentes na área de estudo. Essa quantificação foi fundamental para inventariar que o volume de edificações em determinada localidade pode potencializar a impermeabilização do solo, ampliando o risco hidrológico.

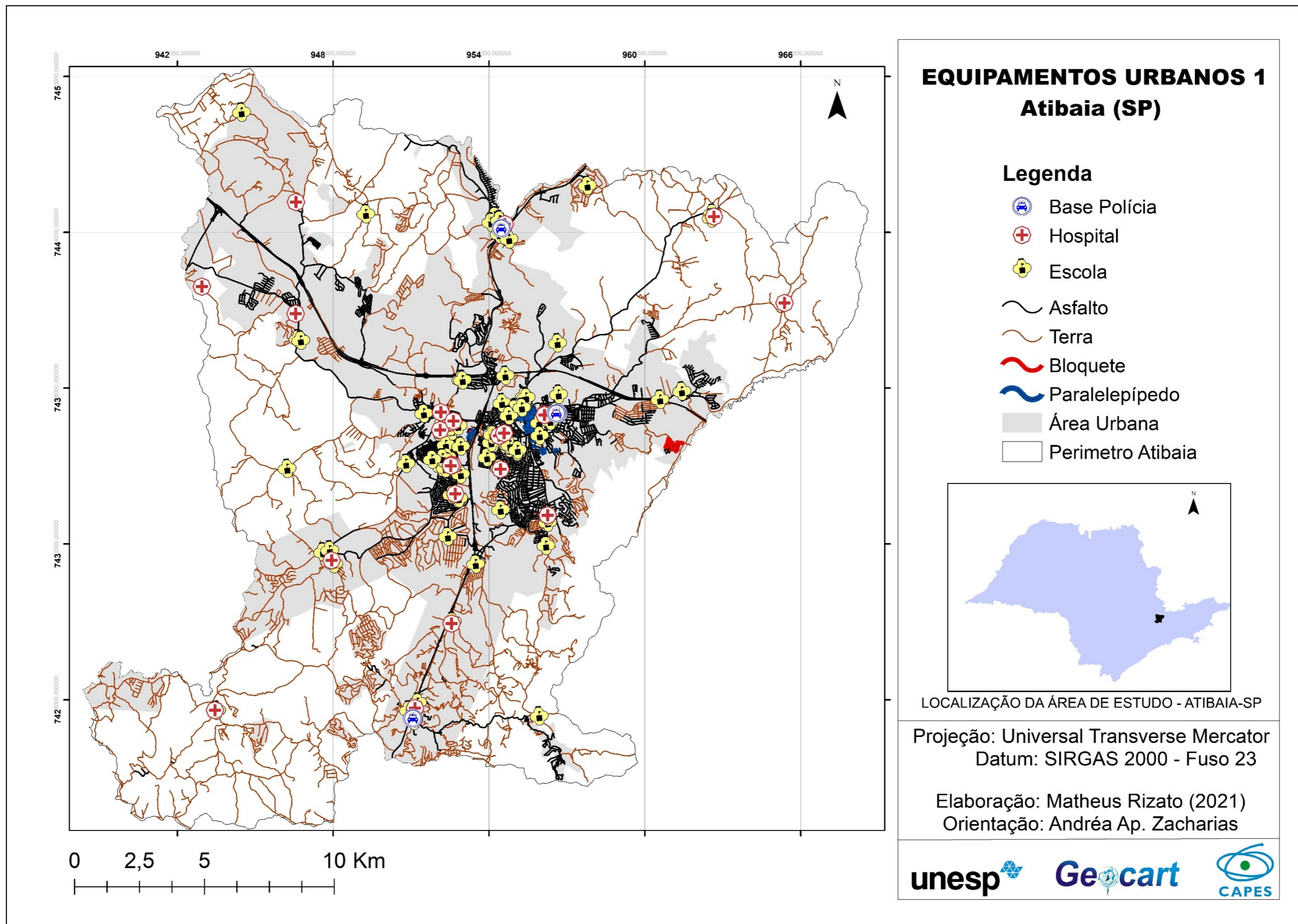


Figura 19 - Mapa de Equipamentos Urbanos 1
Fonte: Autor (2021)

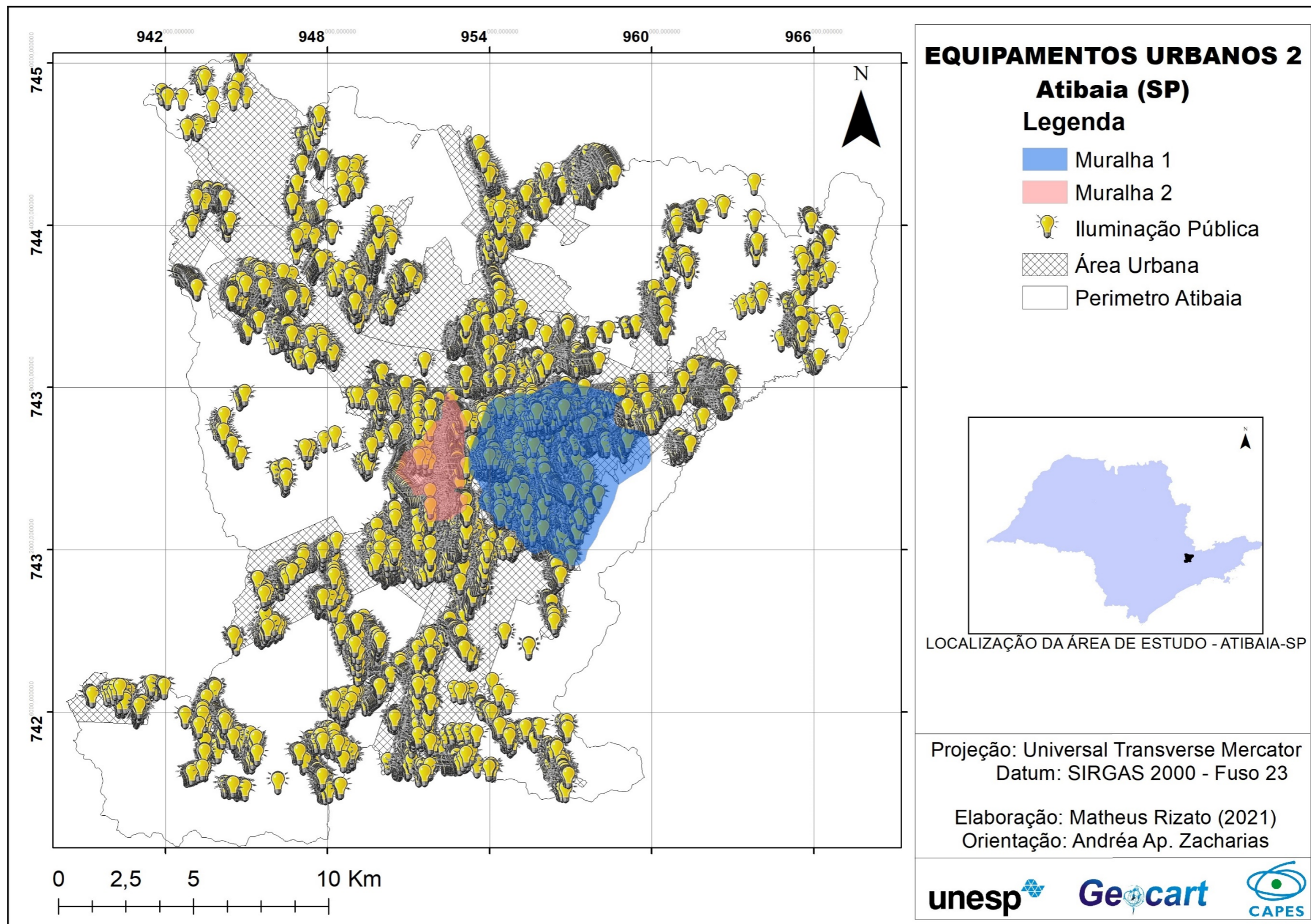


Figura 20 - Mapa de Equipamentos Urbanos 2
Fonte: Autor (2021)

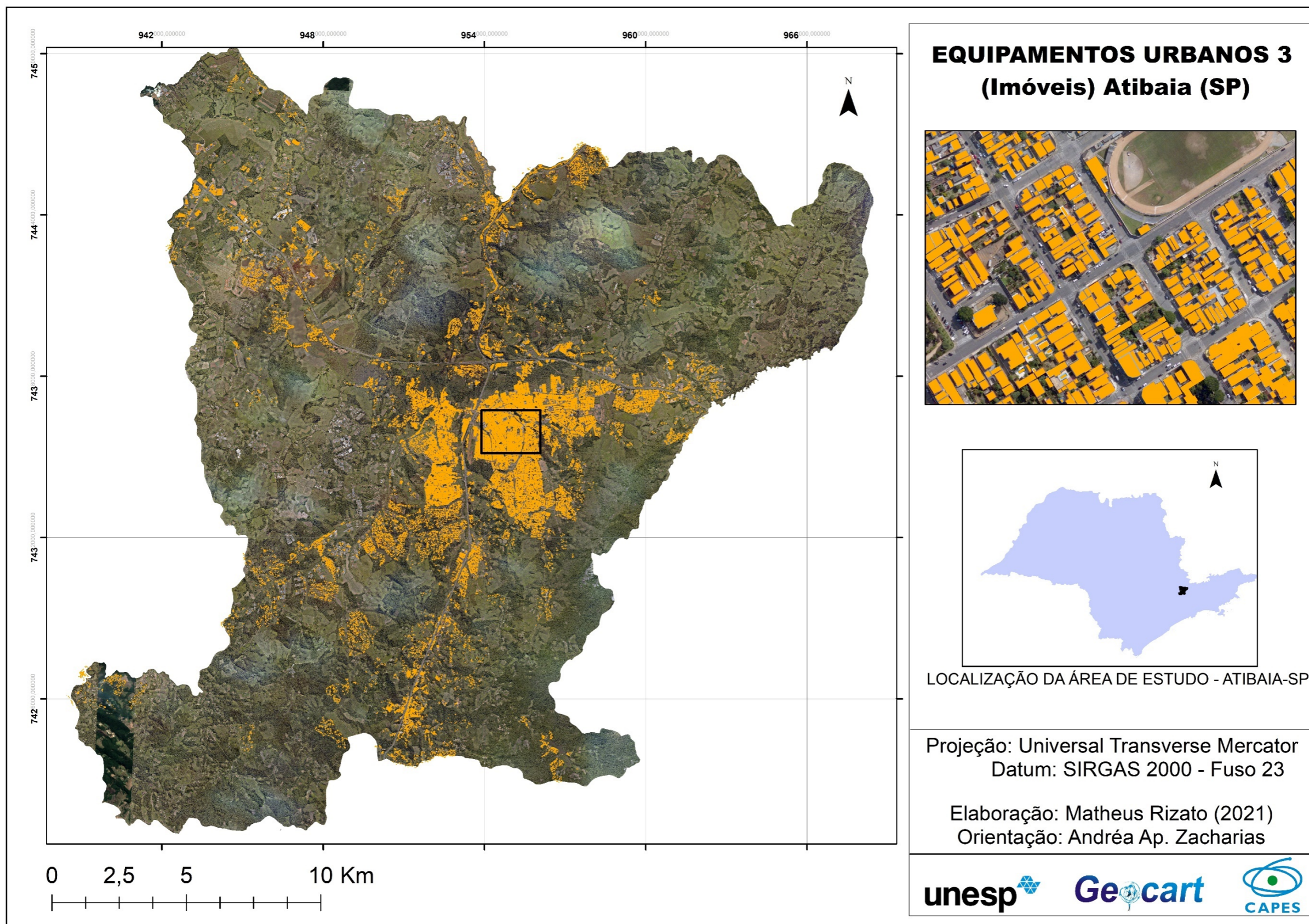


Figura 21 - Mapa de Equipamentos Urbanos 3
Fonte: Autor (2021)

6.2. Análise das ocorrências de desastres de inundação e de movimento e/ou deslizamentos de massa

O Quadro 8 apresenta os eventos potencialmente causadores de desastres hidrológicos e hidrogeológicos, oficialmente registrados junto às fontes utilizadas, identificados no município de Atibaia/SP, entre 2000 e 2020, considerando um período de 20 anos.

Desta forma, o Quadro 8, consta a origem do evento, o grupo que determina se ele é de ordem geológica, hidrológica ou meteorológica. Também, é especificado o subgrupo do evento, que representa se o evento registrado é classificado como enxurrada, alagamento, deslizamento e outros, assim como o seu código junto a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Por fim, o quadro ainda ilustra a data, o local, o comprometimento em relação a população atingida, o número de pessoas atingidas e a fonte do registro.

Quadro 8 - Registros de ocorrências de eventos potencialmente causadores de desastres

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos				
Origem	Grupo	Subgrupo/Tipo	Código	Data (D/M/A)	Local	Comprometimento	População Atingida	Fonte
Natural	Geológico	Movimento de Massa/ Deslizamentos	1.1.3.2.1	15/01/2009	Estrada da Boa Vista	Habitação	2	G1
				03/01/2020	Zona Rural	Habitação	N/D	G1
	Hidrológico	Enxurradas	1.2.2.0.0	21/01/2002	Bairros Caetetuba, Pq. são Pedro, Vila Thais, Vila Junqueira, Jardiw Flamboyanc e Jarfim Maracanã	Habitação	802 pessoas	S2I2 - Decret o/ Atlas
				28/02/2011	N/D	Habitação	N/D	S2I2 - Jornal
				29/03/2011	N/D	Habitação	N/D	S2I2 - Jornal
		Inundações	1.2.1.0.0	11/01/2011	bairros Centenário, Caetetuba, Parque das Nações, Portão e Kanima	Habitação	N/D	S2I2 - Decret o/ G1
				02/01/2010	Bairros Jardim Parque Real, Jardim Sueli, Caetetuba, Vila São José, Recreio Estoril, CTB, Vila Mira, Parques das Nações, Ponte, Parque dos Coqueiros III, Ressaca, Jardim Kanimar, Guaxinduva	Habitação	1639 pessoas	S2I2 - Atlas
				02/01/2010	Bairros Jardim Parque Real, Jardim Sueli, Caetetuba, Vila São José, Recreio Estoril, CTB, Vila Mira, Parques das Nações, Ponte, Parque dos Coqueiros III, Ressaca, Jardim Kanimar, Guaxinduva	Habitação	1639 pessoas	S2I2 - Atlas
				28/01/2010	Bairros Jardim Parque Real, Jardim Sueli, Caetetuba, Vila São José, Recreio Estoril, CTB, Vila Mira, Parques das Nações,	Habitação	2668 pessoas	S2I2 - Atlas

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos				
Origem	Grupo	Subgrupo/Tipo	Código	Data (D/M/A)	Local	Comprometimento	População Atingida	Fonte
					Ponte, Parque dos Coqueiros III, Ressaca, Jardim Kanimar, Guaxinduva, Jardim Paraíso do Tanque, Portão, Estância Lince, Centro, Jardim Imperial, Jardim Brasil, Tanque, Usina, Ribeirão dos Porcos			
				05/01/2010	bairros Kanimar e Parque das Nações	Habitação	500 famílias	S212 - Decret o/ Folha-UOL
		Alagamentos	1.2.3.0.0	13/01/2011	Jardim Sueli, Caetetuba, Vila São José, Recreio Estoril I e II, CTB, Vila Mira, Parques das Nações, Bairro da Ponte, 3.º Centenário, Ressaca, Jardim Kanimar, Guaxinduva, Jardim Paraíso do Tanque, Bairro do Portão, Estância Lince, Vila Thais, Centro, Jardim Imperial, Jardim Brasil, Jardim Roseli, Tanque, Ribeirão dos Porcos, Rosário, Jardim Flamboyant, Parque Arco Iris, Ponte Alta, Mato Dentro, Usina, Pedreira, Maracanã, Alvinópolis II, Alto do Alvinópolis, Residencial Água Verde, Vila Pizzeli, Chácara do Arthur, Parque Fernão Dias, Estância Santa Maria do Portão, Jardim Paulista, Vila Gardênia, Atibaia	Habitação	3365 pessoas	S212 - Atlas

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos				
Origem	Grupo	Subgrupo/Tipo	Código	Data (D/M/A)	Local	Comprometimento	População Atingida	Fonte
					Belvedere, Cidade Satélite, Jardim do Trevo, Retiro Recanto Tranquilo (Palavra da Vida), Atibaia Jardim, Refúgio, Itapetinga, Chácara Pq. São Pedro, Alvinópolis, Jardim Pacaembu, Jardim Maristela, Pq. Res. Itaguaçu, Vila Nova Aclimação, Marrneleiro.			
				09/01/2013	Bairro do Portão e Gibi.	Habitação	6 pessoas	S2I2 - Relatórios
	Meteorológico	Tempestade Local/ Convectiva - Chuvas intensas e tornados	1.3.2.1.2	16/01/2017	N/D	Habitação	300 pessoas	S2I2 - Relatórios
				09/01/2013	N/D	Habitação	126614 pessoas	S2I2 - Relatórios
				10/03/2016	bairros Portão, Caetetuba, Alvinópolis 2, Iara, Maracanã e Chácaras Brasil.	Habitação	600 famílias	S2I2 - Decreto/ G1
				10/06/2016	bairros Caetetuba, Kanimar e Parque das Nações	Habitação	80 famílias	S2I2 - Decreto/ G1
				04/11/2015	N/D	Habitação	N/D	S2I2 - Relatórios
				12/12/2015	N/D	Habitação	126614 pessoas	S2I2 - Relatórios
				20/02/2016	Centro, Boa Vista, Itapetinga, Alvinópolis, Jardim do Lago, Jardim Paulista, Caetetuba, Cidade Satélite	Habitação	606 pessoas	S2I2 - Relatórios

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos				
Origem	Grupo	Subgrupo/Tipo	Código	Data (D/M/A)	Local	Comprometimento	População Atingida	Fonte
				29/02/2016	N/D	Habitação	126614 pessoas	S2I2 - Relatórios
				11/03/2016	N/D	Habitação	126614 pessoas	S2I2 - Relatórios
				05/06/2016	Bairro da Usina, Tanque e Boa Vista, Jardim Paraiso da Usina, Tanque, Boa Vista, Jardim Kanimar, Parque das Nações, Vila Mira, Caetetuba, Ressaca, Piqueri, Brotas, Itapetinga, Centro, Ponte, Mato Dentro, Cachoeira, Cachoeira dos Pitãs, Campo dos Aleixos e Arrozal	Habitação	85035	S2I2 - Relatórios
				09/06/2016	N/D	Habitação	N/D	S2I2 - Relatórios
				27/01/2017	N/D	Habitação	3741 pessoas	S2I2 - Relatórios
				05/01/2019	N/D	Habitação	206 pessoas	S2I2 - Relatórios
				27/02/2020	N/D	Habitação	3048 pessoas	S2I2 - Relatórios

*N/D – Nenhum dado

Fonte: Autor (2022), com base nos dados do CPRM (2020); Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2020); S2ID – Sistema Integrado de Informações de Desastres; G1 (2020) e Folha/Uol (2020)

Compilando-se suas informações (Quadro 8), seguindo o protocolo definido na descrição metodológica para a quantificação dos eventos (item 5.2.6.) pode-se constatar que nos últimos 20 anos, o total de eventos oficialmente registrados em Atibaia/SP foram de 25 (vinte e cinco) desastres hidrológicos e hidrogeológicos. Deste total, dentro do período considerado, destacam-se as tempestades com o total de 14 (catorze) ocorrências, seguido pelas inundações com 4 (quatro), enxurradas apresenta 3 (três) e, por último os alagamentos e os movimentos e/ou deslizamentos de massa com 2 (dois), registros cada (Figura 22). Estes valores equivalem o total de 56%, 16%, 12% e 8% (Figura 23) do número total de registros, respectivamente.

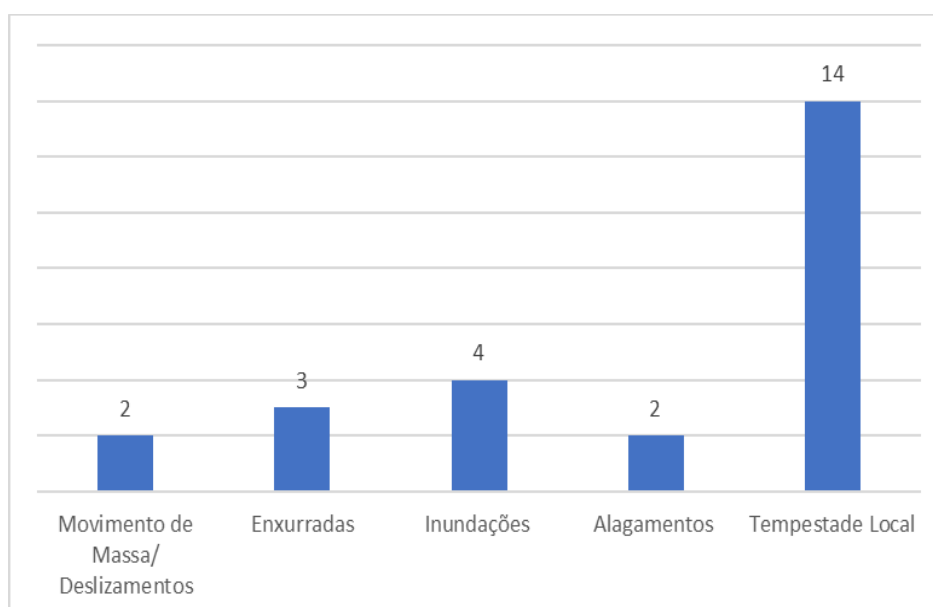


Figura 22 - Compilação do número de registros de eventos potencialmente causadores de desastres durante o período estudado (2000 – 2020)

Fonte: Autor (2022)

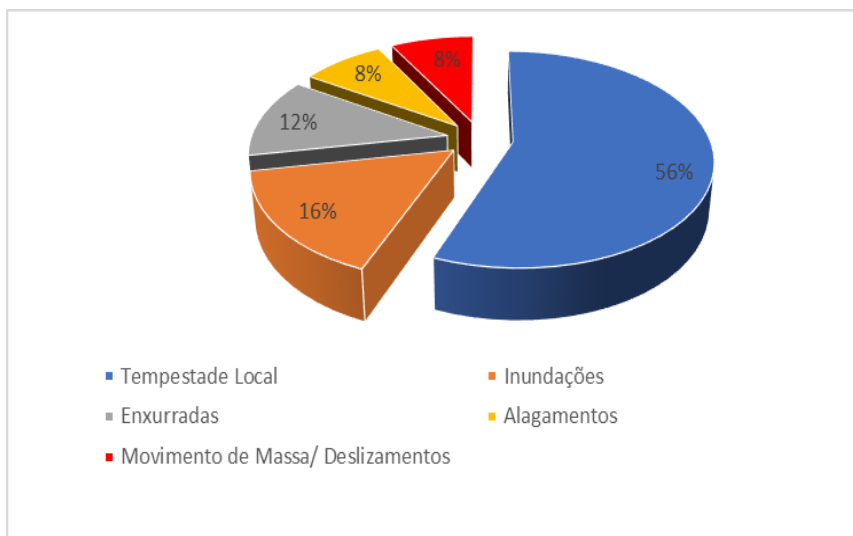


Figura 23 - Distribuição dos registros de eventos potencialmente causadores de desastre durante o período estudado (2000 -2020)

Fonte: Autor (2022)

Vale destacar que a maior parte dos eventos ocorrem entre os meses de dezembro a março, conforme demonstrado na Tabela 10 e na Figura 24. Neste período os índices pluviométricos são maiores propícios aos desastres de natureza hidrológica e hidrogeológica. Vale destacar que os eventos assinalados como tempestades locais estão diretamente ligados as inundações e enxurradas. A diferenciação desta nomenclatura com as demais está atrelada ao fato de este evento, também, estar relacionado com danos causados não só pela força das águas, mas sobretudo pelos ventos gerados por estas tempestades.

Tabela 10 - Registros de eventos potencialmente causadores de desastres por mês

Subgrupo/Tipo	Ocorrência											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Inundações	4											
Movimento de massa	2											
Enxurradas	1	1	1									
Alagamentos	2											
Tempestade Local	4	3	2			3					1	1

Fonte: Autor (2022)

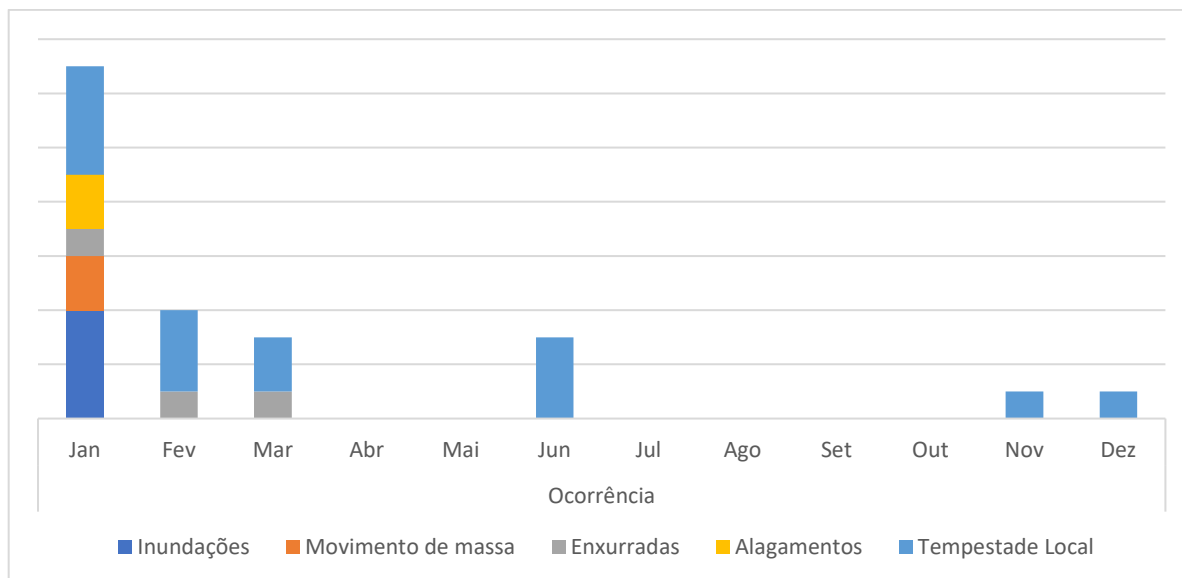


Figura 24 - Compilação, por mês, dos registros de eventos potencialmente causadores de desastres.

Fonte: Autor (2022)

Como observado, esses eventos são associados, direta ou indiretamente, a processos meteorológicos, que passam a ser intensificados sazonalmente em períodos de maior precipitação. Por esse motivo, a maior parte das ocorrências de eventos causadores de desastres ocorrem no verão, principalmente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, estação onde os níveis pluviométricos, na maioria dos anos verificados, estão maiores, conforme pode ser observado na Figura 25. Esse fato influencia na vazão dos principais rios presentes na região. A exemplo disso, o principal rio do município, o Rio Atibaia, costuma apresentar considerável aumento da sua vazão média, neste mesmo período (Figura 26), intensificando as ocorrências de desastres de origem hidrológica como as inundações e enchentes.

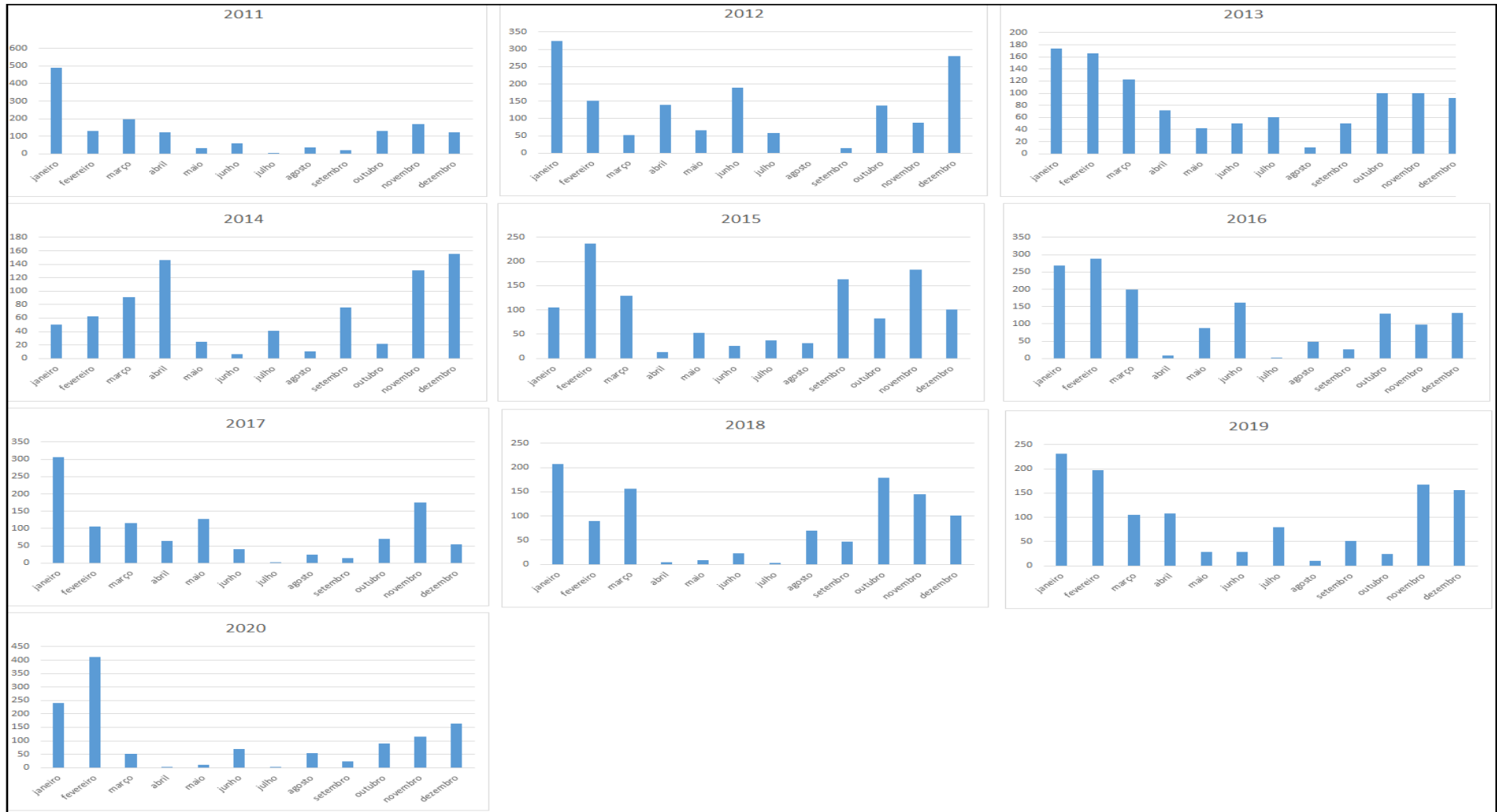


Figura 25 - Precipitação mensal acumulada em mm de Atibaia/SP dos anos de 2011 a 2020
Fonte: CIIAGRO (2020)

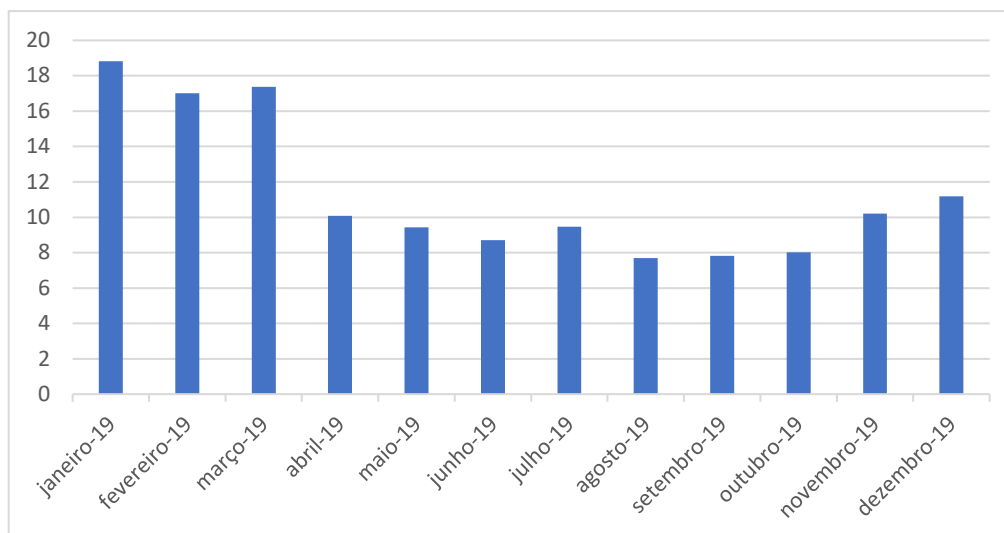


Figura 26 - Vazão média em m³ do Rio Atibaia em 2019
Fonte: ANA – Agência Nacional das Águas (2020)

Do ponto de vista social e ambiental, os fatores que potencializam esse tipo de desastre é a alta densidade populacional, em áreas classificadas como de risco de inundação e deslizamento (Figura 27) e, também a falta de planejamento pretérita na expansão territorial. Este último fato pode ser observado na Figura 28 contendo as informações das áreas propícias a alagamentos fornecidas pela Defesa Civil, assim como o total de moradias presentes no município. Desta forma, cruzando-se no ambiente SIG o perímetro da área de inundação (prospecção) com os imóveis da área urbana do município pôde-se constatar que, aproximadamente, 1.618 moradias seriam afetadas, gerando, assim, a necessidade de realocação temporária dessas famílias em abrigos pré-determinados.



Figura 27 - Ocupação em área de risco de inundação (1) e de deslizamento (2) em Atibaia/SP
Fonte: CPRM (2012)

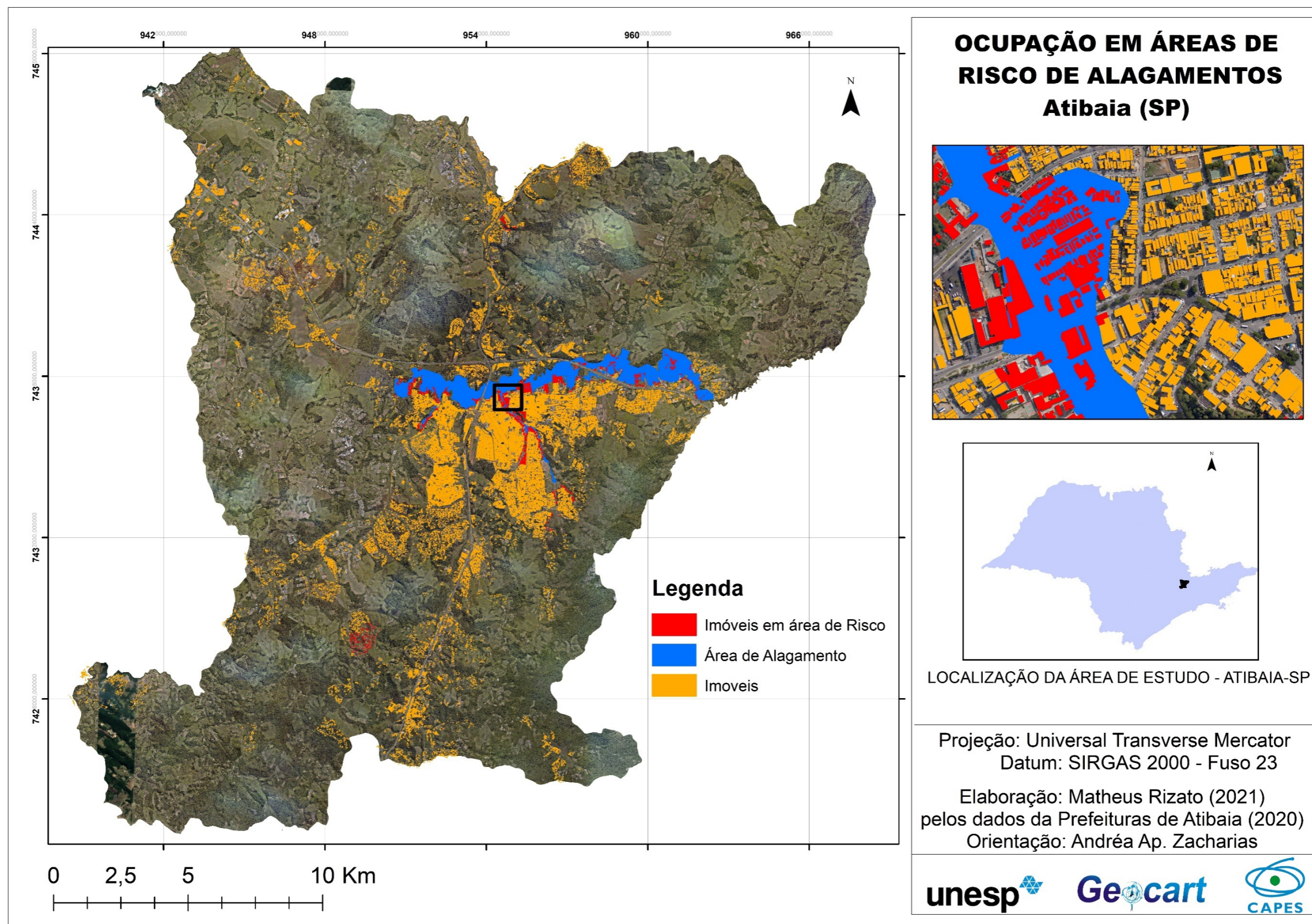


Figura 28 - Mapa de Ocupação em Áreas propícias a Alagamento
Fonte: Autor (2021), a partir de dados da Prefeitura de Atibaia (2020)

6.2.1. Setorização de Áreas de Risco (CPRM)

No que tange às ocorrências de eventos hidrológicos e hidrogeológicos, o levantamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil apontou que, dentre os desastres naturais com ocorrência constatada para o território nacional, as inundações e movimentos e/ou deslizamentos de massa foram aqueles que acarretaram o maior número mortes.

No ano de 2011, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) passou a integrar o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta aos Desastres Naturais (PNGRRDN), juntamente com o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), salientando que os dados produzidos pelo CPRM são disponibilizados em caráter primário para as defesas civis de cada município e os dados finais alimentam o banco nacional de dados do Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN.

Assim, foi realizada a compilação (Quadro 9) dos resultados obtidos pelos Estudos de Setorização em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações do município de Atibaia/SP, elaborados em 2012 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM e Departamento de Gestão Territorial - DEGET, compreendendo dados obtidos em 2011 e 2012. (CPRM, 2012).

Quadro 9 - Setorização das Áreas com Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações do município de Atibaia/SP

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos						
Origem	Grupo	Subgrupo/ Tipo	Código	Local	Comprometimento	Número de moradias atingidas	População Atingida (hab)	Setor	Grau de Risco	Data da Publicação
Natural	Geológico	Movimento de massa/ Deslizamentos	1.1.3.2.1	Jardim São José	Precárias moradias, sujeitas a serem atingidas por deslizamentos, por estarem ao longo de sopé de um talude de corte verticalizado, sustentado por solo residual de paragnaisse, recoberto por solo coluvionar. Na quebra do talude existe um muro instável,	25	100	SP_GM _SR_08 _CPRM	ALTO	03/12/2012
				Jardim Paraíso/Tanque	Urbanização desordenada com edificações precariamente construídas, no modelo corte-aterro escalonado, ocupando uma encosta com declive variando entre 35 e 50 graus. Risco de moradias serem atingidas por deslizamentos de solo.	70	280	SP_GM _SR_09 _CPRM	ALTO	03/12/2012
				Jardim Paraíso/Tanque	Edificações sujeitas a desmoronamento ou deslizamentos, por estarem edificadas em uma rampa com declividades superiores a 65 graus, sustentada por saprólito, coberto por solo	12	50	SP_GM _SR_10 _CPRM	MUITO ALTO	03/12/2012

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos						
Origem	Grupo	Subgrupo/ Tipo	Código	Local	Comprometimento	Número de moradias atingidas	População Atingida (hab)	Setor	Grau de Risco	Data da Publicação
					coluvionar, com sinais de rastejo (árvores tombando).					
				Centro	Edifício residencial, sujeito a ser atingido por deslizamento de solo, por estar encostado ao sopé de uma encosta de mais ou menos 25 metros de altura, subverticalizada, sustentada por saprólito, coberto por solo coluvionar, com evidências de rastejo.	3	15	SP_GM _SR_11 _CPRM	ALTO	03/12/2012
				Jardim Régia Vitória	Área com urbanização ainda espaçada, no modelo corte-aterro, relevo acidentado e recortado por canais de drenagem, encaixados em declivosas vertentes côncavas.	90	360	SP_GM _SR_12 _CPRM	ALTO	04/12/2012
	Hidrológico	Inundações	1.2.1.0.0	Guaxinduva/ Jardim Kanimar/ Morumbi	Inundações, com alto potencial de ampliação da área de abrangência e de tempo de duração, uma vez que se trata de uma ampla planície aluvionar, onde rio Atibaia meandra e é sujeito a grandes e bruscas mudanças de nível e vazão,	104	420	SP_GM _SR_01 _CPRM	MUITO ALTO	28/11/2012
				Jardim Centenário, Parque dos	III Inundações, com alto potencial de ampliação da área de abrangência, uma	470	1800	SP_GM _SR_02 _CPRM		29/11/2012

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos						
Origem	Grupo	Subgrupo/ Tipo	Código	Local	Comprometimento	Número de moradias atingidas	População Atingida (hab)	Setor	Grau de Risco	Data da Publicação
				Coqueiros, Parque das Nações	vez que se trata de uma ampla planície aluvionar, onde rio Atibaia meandra, sujeito a mudanças de nível e vazão, por consequência do volume de águas. dos terrenos altos.				MUITO ALTO	
				Vila Mira, Jardim Roseli, CTB, Recreio Estoril Jardim Soeli	Urbanização adensada, incluindo edifícios públicos, pequenos prédios, galpões, colégios, escolas, áreas de favelas localizadas em áreas de inundação do Rio Atibaia,	330	1400	SP_GM _SR_03 _CPRM	MUITO ALTO	29/11/2012
				Ribeirão Itapetinga	Área densamente urbanizada. Problema gerado por uma série de ações inadequadas em direção às cabeceiras do ribeirão, que nasce em áreas montanhosas.	360	1400	SP_GM _SR_05 _CPRM	MUITO ALTO	30/11/2012
		Enxurrada	1.2.2.0.0	Caitetuba/ Gerônimo Camargo bairro de	Urbanização adensada, em expansão, por precárias moradias, situadas na planície de inundação do córrego Folhas Largas. Ampla planície aluvionar, com córrego de baixa energia, meandra sujeito a grandes mudanças de vazão.	90	360	SP_GM _SR_04 _CPRM	ALTO	29/11/2012

Classificação COBRADE				Dados dos Eventos						
Origem	Grupo	Subgrupo/ Tipo	Código	Local	Comprometimento	Número de moradias atingidas	População Atingida (hab)	Setor	Grau de Risco	Data da Publicação
				Córrego Figueira	da Ocupação urbana sujeitas a serem afetadas pelas fortes enxurradas e por transbordamentos do córrego Figueira, que nasce em áreas montanhosas. Duas barragens são importantes para quebrar a energia das águas e para reter sedimentos	15	60	SP_GM _SR_06 _CPRM	ALTO	30/11/2012
				Ribeirão Itapetinga/Estância Lynce/Jardim Flamboyant	Urbanização esparsa, acompanhando o vale às margens do ribeirão Itapetinga, próxima das áreas montanhosas, sujeitas a enxurradas que levaram três pequena barragem a sucessivamente se transbordarem.	50	200	SP_GM _SR_07 _CPRM	ALTO	30/11/2012

Fonte: Autor (2022), através dos dados da CPRM (2012).

Por essa compilação na Figura 29, pode-se notar que a maioria dos setores associados à elevação do fluxo hídrico (enchentes, enxurradas e inundações) se encontram na planície de inundação do Rio Atibaia, como também, no entorno de alguns de seus tributários; ao passo que os movimentos de massa são verificados nas porções mais altas do terreno e em áreas de elevação mais acentuada, bem como na base dos morros.

Conforme exposto anteriormente, os rios que cruzam o município costumam extravasar anualmente os seus leitos regulares, principalmente entre o período de janeiro a março, ocasionando danos à população residente na planície de inundação.

Já as áreas suscetíveis a movimentos e/ou deslizamentos mapeadas no município estão associadas a morros altos e baixos (Figura 30), que variam aproximadamente entre 900m e 1.015m de altitude com declividade aproximada entre 19% e 36%, e o principal fator de risco associado é a alteração do meio físico, causados por cortes verticais em terrenos com declive alto (CPRM, 2012).

Ainda compilando os dados em ambiente SIG, é possível observar que o total de imóveis em áreas de risco, segundo as áreas apontadas pelo relatório do CPRM e do total de imóveis mapeados neste trabalho, é de 5.558. Quantitativo que representa um alto número de pessoas em áreas classificadas de alto e muito alto risco, o que demanda uma rápida ação do poder público para as populações residentes nessas áreas.

Ainda, fatores como infiltrações causadas pelos lançamentos de águas diretamente no solo, a remoção da vegetação nativa e a sobrecarga de construções feitas de forma desordenada na crista dos taludes contribuem para o agravamento da situação (CPRM, 2012).

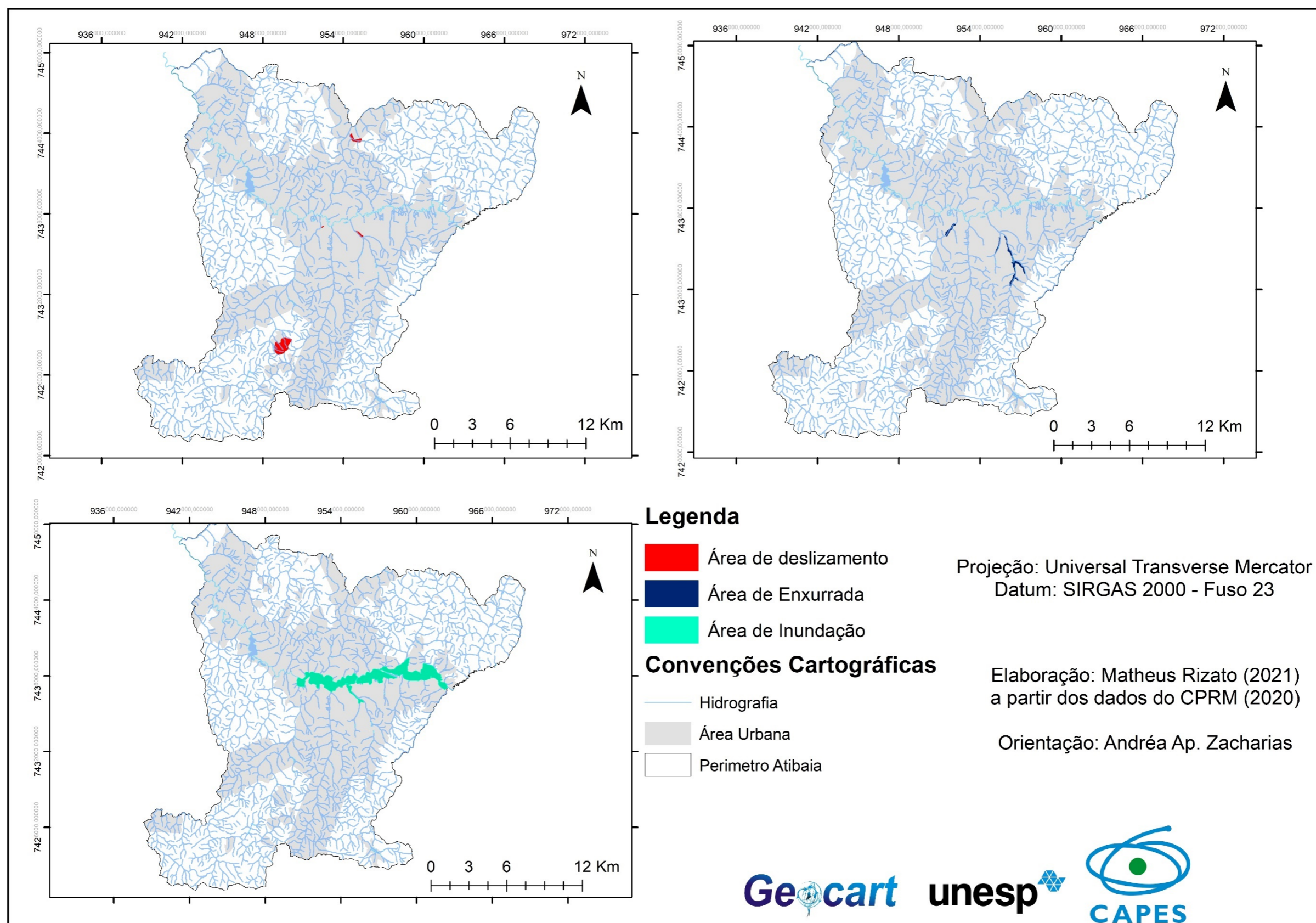


Figura 29 - Localização das áreas de risco a movimentos de massa, erosões e inundações
Fonte: Autor (2021), a partir de CPRM (2020)

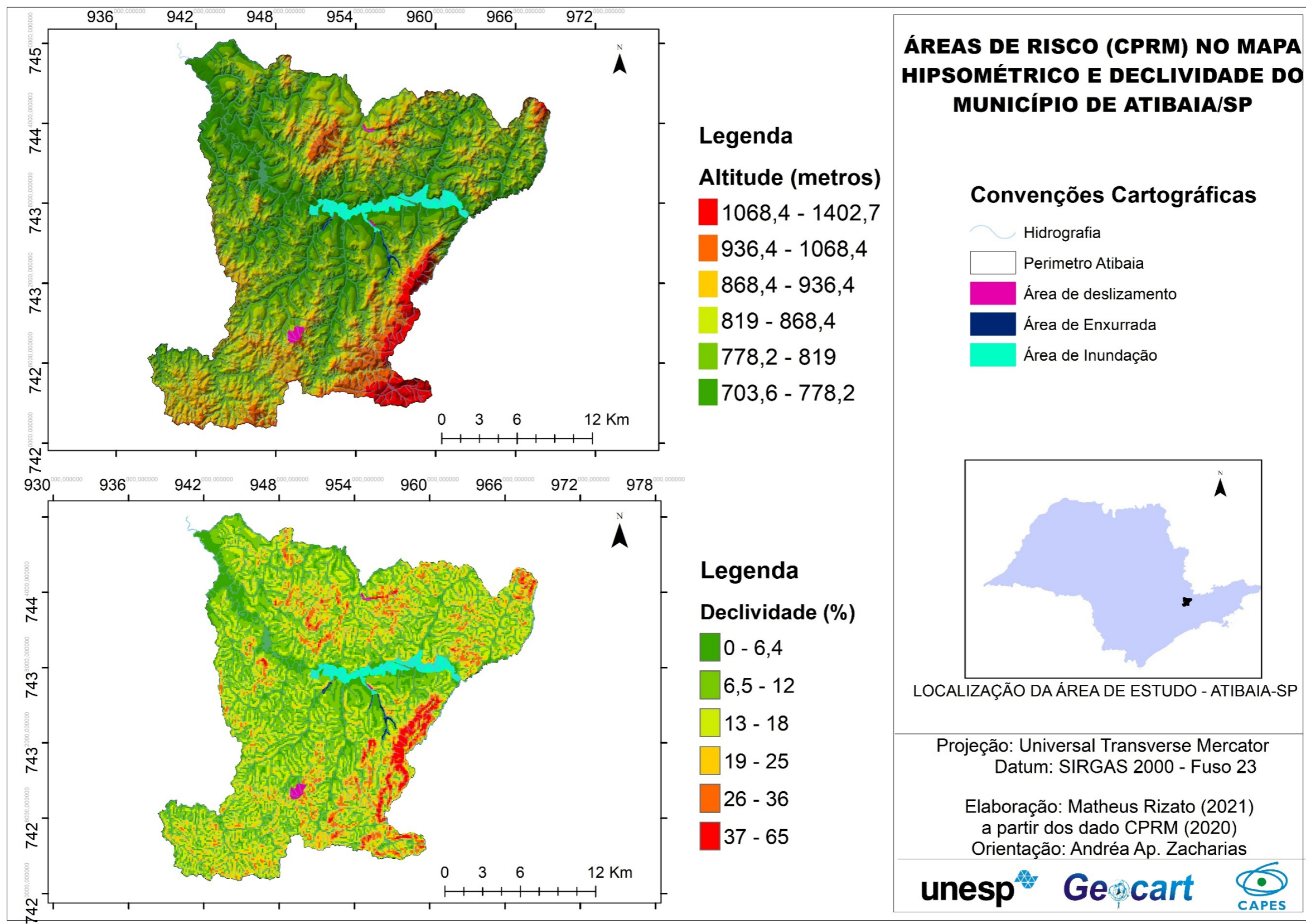


Figura 30 - Áreas de risco no mapa de altimetria e declividade
Fonte: Autor (2021), a partir de CPRM (2020)

6.3. Mapeamento da Vulnerabilidade Social e Ambiental

A seguir serão descritos os resultados obtidos para o Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental, conforme as metodologias aplicadas. Contudo, antes de se obter o mapa final de VSA, apresentam-se os resultados dos mapas de Criticidade (C) e Capacidade de Suporte (CS).

6.3.1. Mapa de Criticidade

O Mapa de Criticidade (C) reúne os fatores de criticidade de maior influência na análise realizada, e sua distribuição na área urbana do município pode ser observada na Figura 31.

Neste mapa pode ser observado uma tendência de áreas de muito alta, alta e média criticidade nas áreas de urbanização mais antiga localizadas no centro do município, principalmente nos setores mais próximos as margens do rio Atibaia/SP. Conforme se afasta gradativamente do centro do município, principalmente para a parte leste, percebe-se uma diminuição dos níveis de Criticidade, principalmente nas áreas de urbanização mais recentes. Estes setores, que oscilam entre muito baixa e baixa Criticidade, são representados pela presença de moradias de padrão socioeconômico mais elevado e, pela presença de condomínios residenciais fechados. Este fato pode ser comprovado, com a visualização das imagens de alta resolução que puderam destacar a presença de moradias com alta metragem de área construída, assim como presença de piscinas e áreas verdes.

Nas áreas periféricas do município, inseridas nas bordas da área urbana, percebe-se novamente a tendência de aumento da criticidade, com setores variando entre muito alta, alta e média criticidade. Nestas localidades, apresenta-se considerável diminuição de equipamentos urbanos, assim como um menor padrão econômico das moradias observadas. Contudo, ainda pode-se notar alguns setores isolados de baixa Criticidade. Esse fenômeno ocorre em função da presença de áreas industriais e de condomínios de moradias de alto padrão. Assim, a presença desta estrutura locacional permite a diminuição dos valores de criticidade nestas regiões.

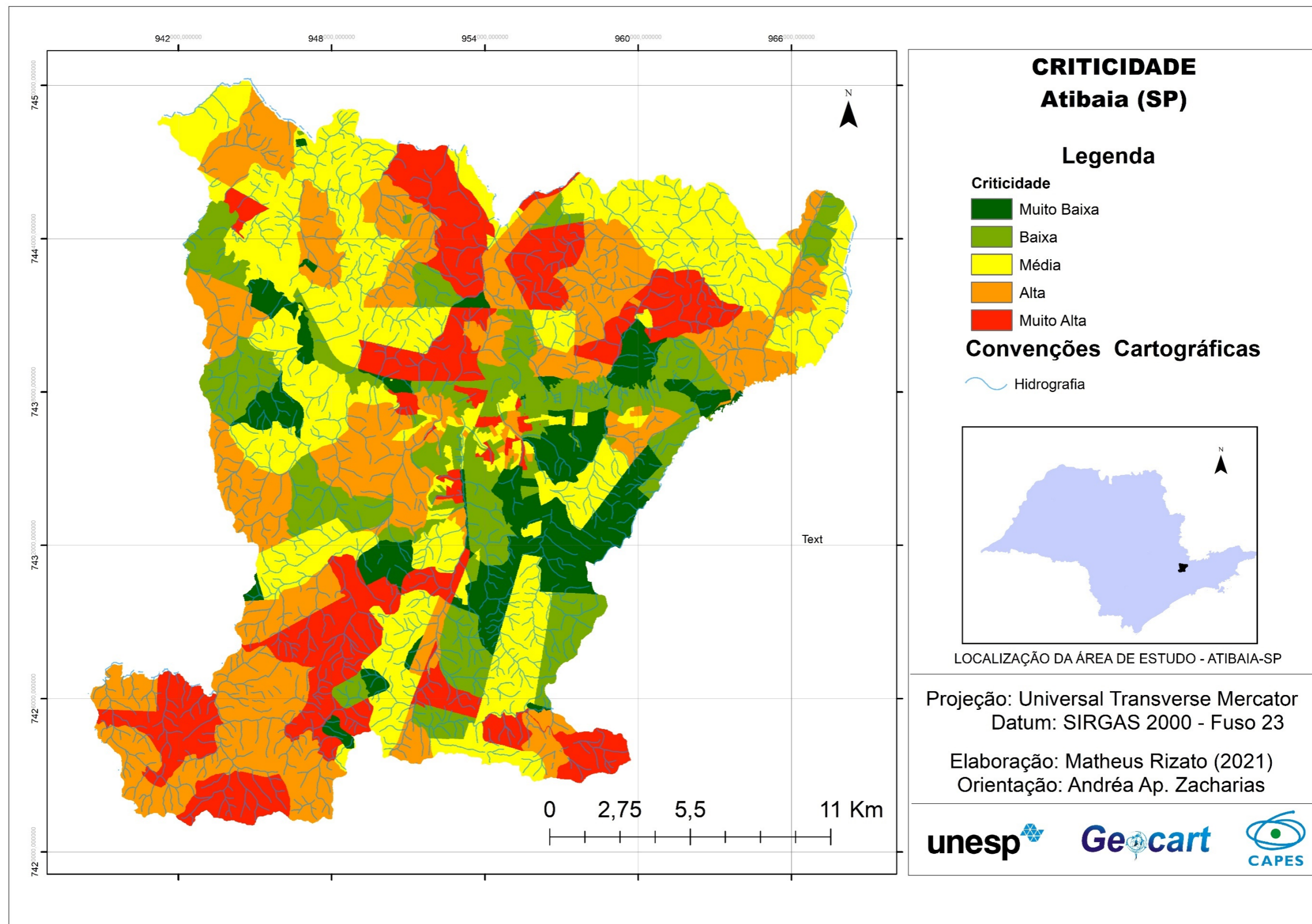


Figura 31 - Mapa de Criticidade
Fonte: Autor (2021)

6.3.2. Mapa de Capacidade de Suporte

Para a geração do Mapa final de Capacidade de Suporte (CS), conforme consta no item 5.3.3 foram utilizados, além dos dados censitários, os mapas temáticos analíticos produzidos anteriormente.

Inicialmente foi gerado o Mapa de Capacidade de Suporte (CS), através dos dados do censo do IBGE, como pode ser observado na Figura 32. Nesta imagem pode ser observado que existe uma concentração dos maiores valores de CS na área central da cidade, onde é perceptível, pela observação das imagens de alta resolução, a maior quantidade de equipamentos urbanos. Nesta região central se concentra setores com muito alta, alta e média CS.

Por outro lado, conforme aumenta-se a distância do centro do município em sentido as regiões mais periféricas, menores são os valores de CS. Nesta região, concentram-se setores com baixa e muito baixa capacidade de suporte. Este fato está atrelado a menor quantidade de equipamentos urbanos presente nessas regiões periféricas em relação as regiões centrais.

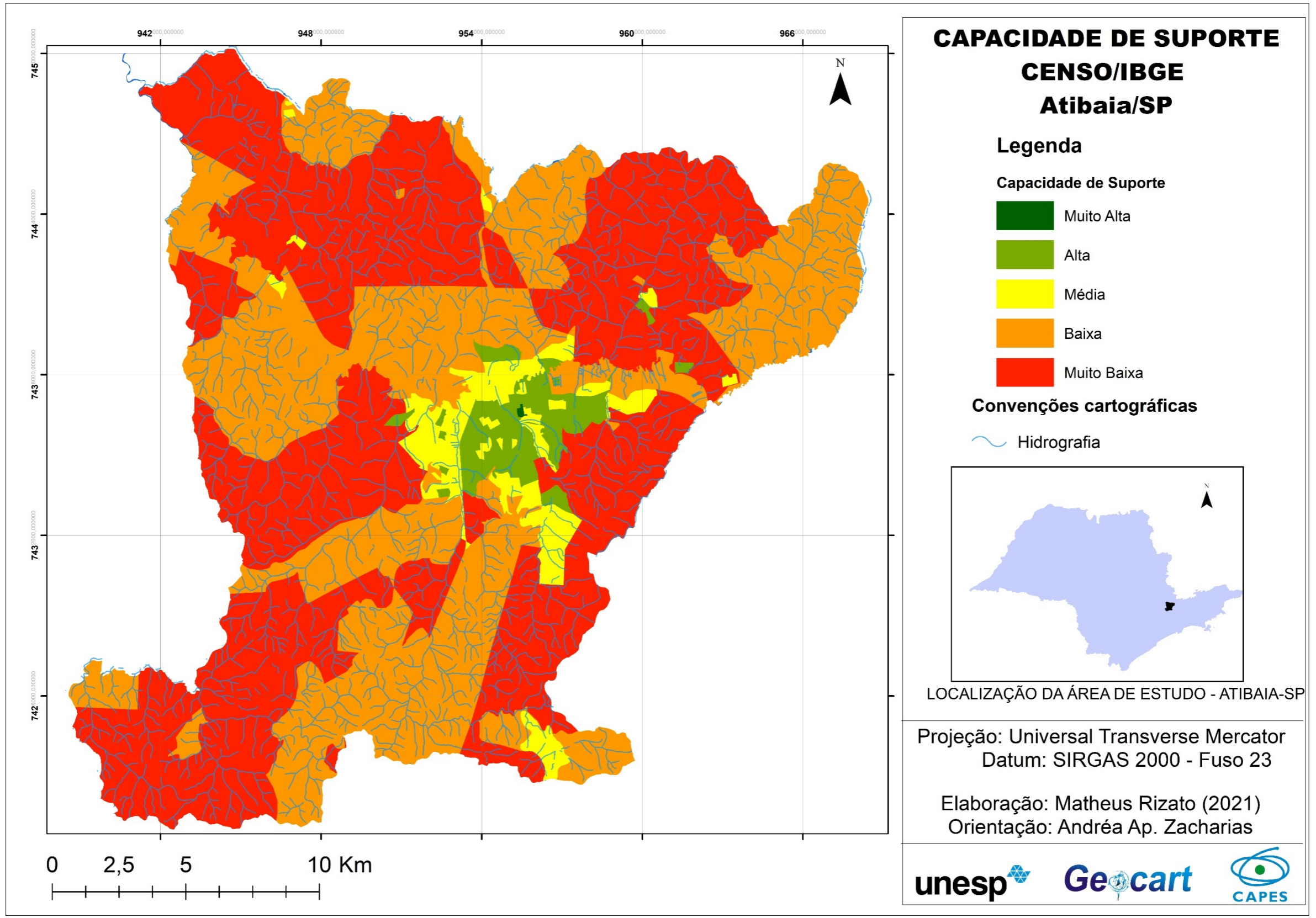


Figura 32 - Mapa de Capacidade de Suporte pelos dados do Censo/IBGE
Fonte: Autor (2021)

Após, a partir da inferência espacial pela álgebra de mapas, um segundo Mapa de Capacidade de Suporte (CS), como uma cartografia de síntese intermediária foi elaborada, onde os mapas temáticos utilizados, foram transformados em *raster* e convertidos para as classes (1) muito alta, (2) alta, (3) média, (4) baixa e (5) muito baixa CS. O resultado do Mapa de Capacidade de Suporte (CS), pode ser observado na Figura 33.

Pelo mapa é possível verificar uma tendência de muita alta, alta e média CS na parte central do município, onde estão concentrados os equipamentos de infraestrutura urbana. Nas regiões periféricas em torno do centro principal, é notória a presença de regiões classificadas como muito baixa e baixa CS. Algumas exceções são observadas (maiores índices), na parte norte e noroeste do município, por exemplos, devido a presença de alguns adensamentos urbanos onde observa-se a presença de condomínios de alto padrão, com maior quantidade de equipamentos urbanos.

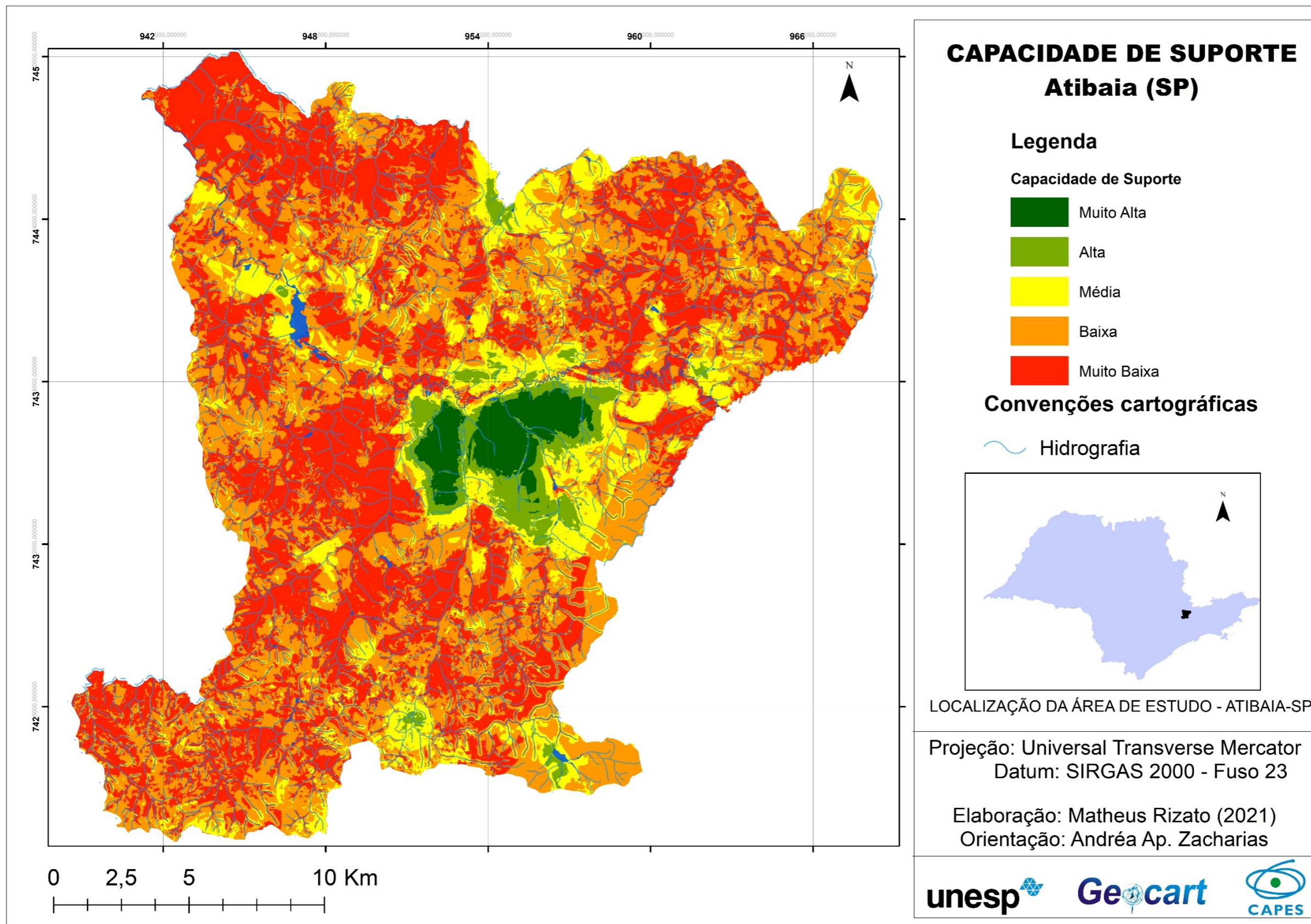


Figura 33 - Mapa de Capacidade de Suporte
Fonte: Autor (2021)

6.3.3. Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental

O Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental do município de Atibaia/SP (Figura 34), foi obtido a partir do cruzamento dos mapas sínteses finais da Criticidade e da Capacidade de suporte, onde nota-se que os valores de VSA na região central do município é maior, principalmente próximos as margens do Rio Atibaia. Também pode-se notar que as áreas onde já são conhecidas as ocorrências de desastres quanto à inundação, enxurradas e movimentos e/ou deslizamentos, igualmente, apresentam altos índices de VSA.

Quanto a distribuição espacial dos dados, os valores indicam que a maior parte da área total do município apresenta muito baixa e baixa VSA, totalizando 45,2%; já as áreas consideradas com média VSA, totalizaram 24,4% da totalidade da área, enquanto a parte considerada com alta representa 6,5% e muito alta 0,9%. A Tabela , apresenta a área total e sua porcentagem de ocupação em relação ao perímetro do município de Atibaia/SP.

Tabela 11 - Percentual das classes de vulnerabilidades Social e Ambiental

Vulnerabilidade Social e Ambiental	Área em km ²	%
Muito Baixa	215,0	45,2
Baixa	109,2	23,0
Média	115,7	24,4
Alta	30,8	6,5
Muito Alta	4,4	0,9
Total	475,12	100

Fonte: Autor (2022)

Relacionando-se a totalidade dos imóveis mapeados, é possível fazer uma análise da quantidade e da localização das edificações, em cada uma das classes consideradas, na qual se obteve a quantidade de moradias que estão em cada nível de VSA, conforme Figura 35. Desta forma, esta informação é um subsídio para o poder público criar políticas para o enfrentamento e para a prevenção da ocorrência de eventos relacionados a enchentes, enxurradas e deslizamentos no município. Na

Tabela , pode ser observado a quantidade total de imóveis em cada classe de VSA considerada.

Assim, a distribuição dos imóveis simboliza que a maior quantidade de moradias se encontra nas classes consideradas com média VSA, totalizando 32,3%. Os considerados muito alto totalizam 12,7% e os altos (22,1%), já as classes de baixa e muito baixa VSA totalizaram com 13,2% e 19,7%, respectivamente.

Tabela 12 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental

Vulnerabilidade Social e Ambiental	Total de imóveis	%
Muito Baixa	20349,0	19,7
Baixa	13601,0	13,2
Média	33234,0	32,3
Alta	22757,0	22,1
Muito Alta	13098,0	12,7
Total	103039,0	100

Fonte: Autor (2022)

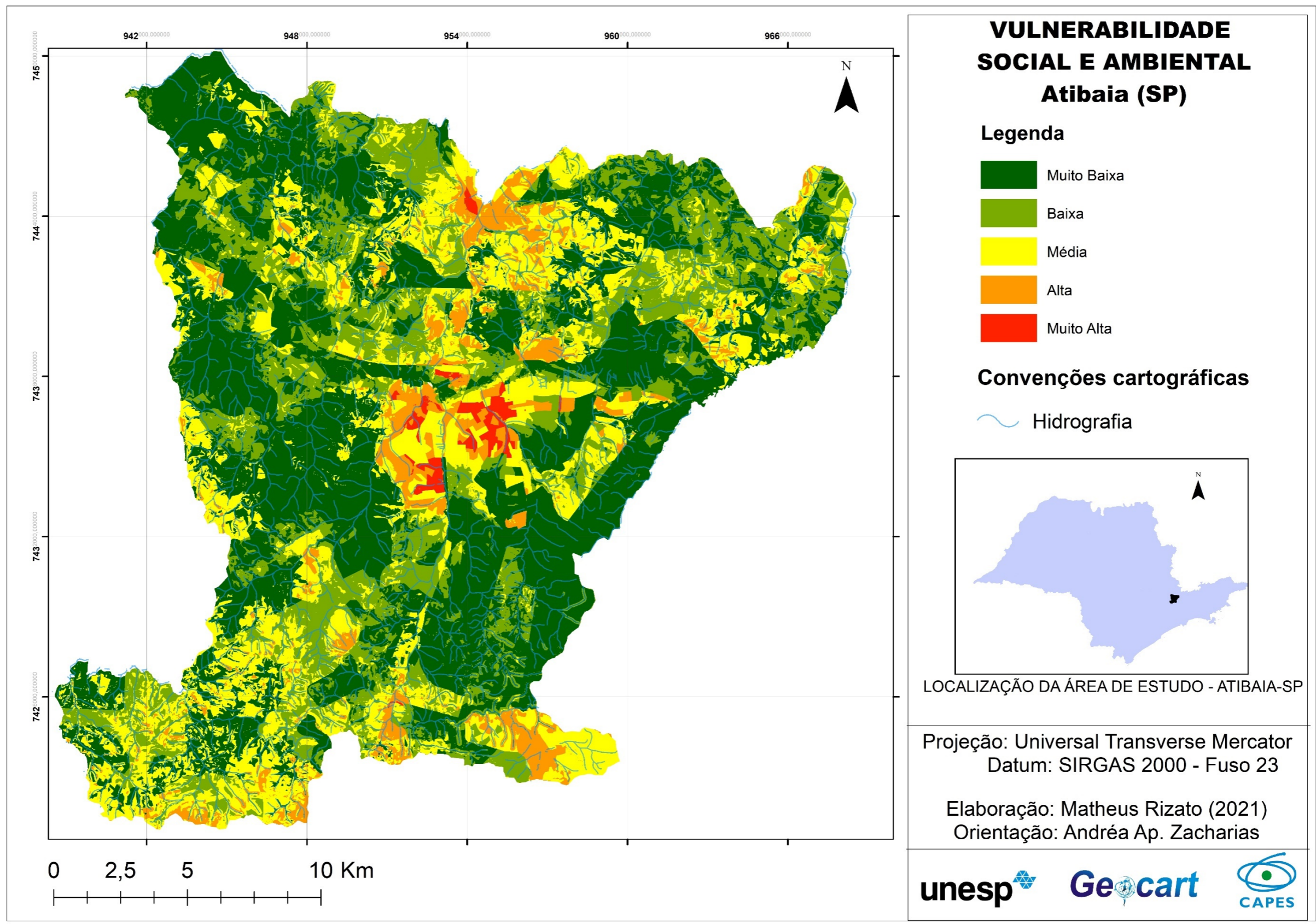


Figura 34 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental
Fonte: Autor (2021)

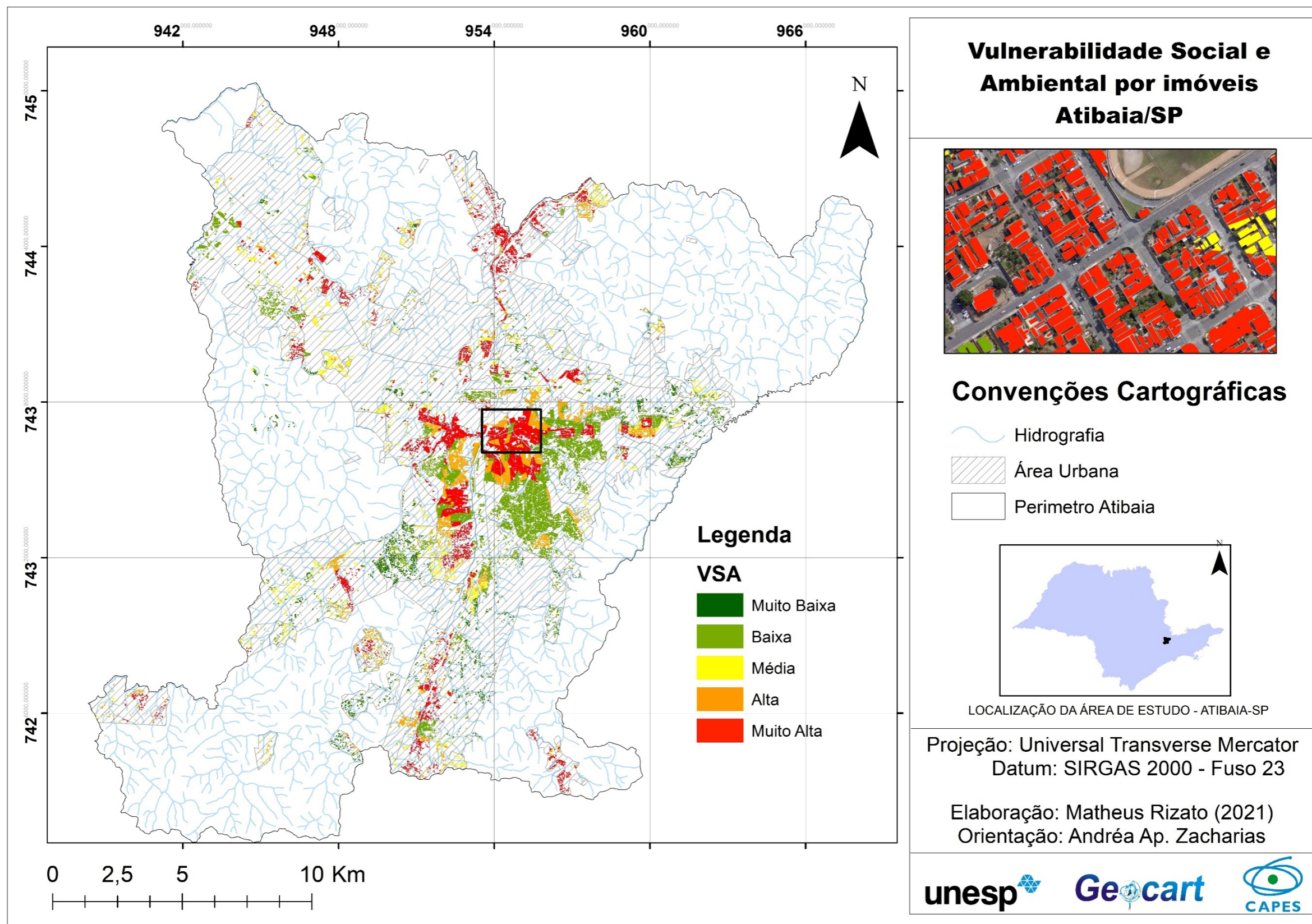


Figura 35 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental por Imóveis
Fonte: Autor (2021)

6.4. Validação da Álgebra de Mapas por Análise Multicritério à Decisão (AMD) e Integração dos dados pelo Processo Analítico Hierárquico – (AHP)

Os mapas utilizados para a integração de dados pela inferência espacial dos métodos AMD e AHP, ao receberem o grau de influência (peso) em cada variável do fenômeno, passaram por análise, verificação e validação dos dados, onde puderam ser aferidos a partir do modelo apresentado pela álgebra de mapas.

Através da Tabela 13, pode ser observado a matriz de normalização com os valores de julgamentos e o vetor de prioridade. Também, se observa que os valores em porcentagem que foram obtidos em cada mapa, permitiram o autovalor da matriz ($\lambda_{Máx}$), onde foi possível estabelecer o índice e a razão de consistência.

Desta forma, o valor apresentado de RC em 0,066105 se mostrou de acordo com os parâmetros aceitáveis, pela metodologia utilizada, para a validação dos dados no modelo, diante da realidade observada nos diferentes ambientes inseridos na paisagem de Atibaia/SP.

Tabela 13 - Matriz normalizada para o cálculo do vetor de prioridade

Critérios	VSA	CPRM	Saúde	UCT	Muralha	Asfalto	DCH	Ilumin.	Decliv.	Vetor Priorid.	Pesos (%)	Auto valor
VSA	0,324	0,440	0,214	0,368	0,211	0,218	0,193	0,218	0,226	0,27	27	10,1467
CPRM	0,162	0,220	0,179	0,368	0,175	0,182	0,241	0,218	0,302	0,23	23	10,7039
Saúde	0,054	0,044	0,036	0,025	0,018	0,018	0,024	0,036	0,019	0,03	3	9,60322
UCT	0,108	0,073	0,179	0,123	0,211	0,218	0,241	0,218	0,302	0,19	19	10,4340
Muralha	0,054	0,044	0,071	0,020	0,035	0,036	0,012	0,036	0,019	0,04	4	9,20331
Asfalto	0,054	0,044	0,071	0,020	0,035	0,036	0,024	0,018	0,019	0,04	4	9,30540
DCH	0,081	0,044	0,071	0,025	0,140	0,073	0,048	0,073	0,019	0,06	6	9,32944
Ilumin.	0,054	0,037	0,036	0,020	0,035	0,073	0,024	0,036	0,019	0,04	4	9,42778
Decliv.	0,108	0,055	0,143	0,031	0,140	0,145	0,193	0,145	0,075	0,12	12	9,74740
Soma	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	100	-
$\lambda_{Máx}$												9,766819
IC												0,095852
RC												0,066105

Fonte: Autor (2022)

A partir dessa análise, considerando a interpretação de cada uma das bases, o entendimento sistêmico que as mesmas condicionam, a interação com a espacialidade dos fenômenos ambientais estudados e as recidivas ocorrências na

área (Zacharias, *et al.*, 2022), a ordem do grau de importância, a partir da álgebra de mapa, foi:

(1) o mapa de Vulnerabilidade social e ambiental obtidos pela primeira álgebra de mapa (item 5.3.3.2) com 27%. Este fato deve-se por estes dados já representarem valores absolutos sobre áreas mais vulneráveis do ponto de vista social e ambiental na área de estudo;

(2) a segunda variável em grau de importância foram os dados oriundos do levantamento realizado pelo CPRM (23%), por representar localidades onde já é oficialmente estabelecido ocorrências de eventos de origem hidrológica e hidrogeológica;

(3) em seguida é observado o mapa de Uso e Ocupação das Terras (UTC) com o total de 19% de importância, estas informações representam o grau de vulnerabilidade social e ambiental em áreas de acordo com o seu uso e ocupação. Um exemplo disso é a localização de ocupações em áreas de várzea e intensa impermeabilização do solo em momentos de alto volume pluviométrico. Estes fatores somados podem comprometer o sistema de drenagem gerando um maior escoamento superficial e aumentando o risco às pessoas residentes nessas localidades. Além disso, a localização de áreas de proteção ambiental, vegetação nativa, agricultura e demais tipos de uso e ocupação também são primordiais para a definição de que uma área é mais ou menos vulnerável;

(4) as informações de declividade possuem 12% de importância na modelagem final onde áreas com relevo mais acentuado apresentam maior grau de vulnerabilidade em relação a áreas mais planas, pois estas regiões estão mais propícias a sofrer com eventos de ordem hidrológica e hidrogeológica;

(5) em seguida aparece o mapa de Distância dos corpos hídricos (DCH) que representa a importância de 6% simbolizando que áreas próximas a corpos hídricos podem possuir maior vulnerabilidade por estarem mais propícias a sofrer danos causados pela ação das águas;

(6) por último, aparecem os mapas representados pelos equipamentos urbanos mapeados no município, que são fundamentais para o enfrentamento das localidades em caso de eventos de risco. Entre estes mapas observa-se o de proximidade de hospitais e postos de saúde (3%), sistema muralha de

monitoramento por câmera (4%), presença de asfalto nas vias (4%), iluminação pública (4%).

A combinação de todos esses mapas e seus respectivos pesos, resultou na cartografia de síntese final que retrata os diferentes ambientes acerca das vulnerabilidades sociais e ambientais (Figura 36), elaborado pelos métodos AMD-AHP, que espacializou a combinação: **a)** dos mapas intermediários, na medida em que destaca as áreas mais e menos críticas em todo o município e; **b)** dos diferentes processos que podem ocorrer aos elementos sociais e ambientais, indicando as áreas que podem ser mais ou menos afetadas pelas perigosidades derivadas dos eventos de riscos.

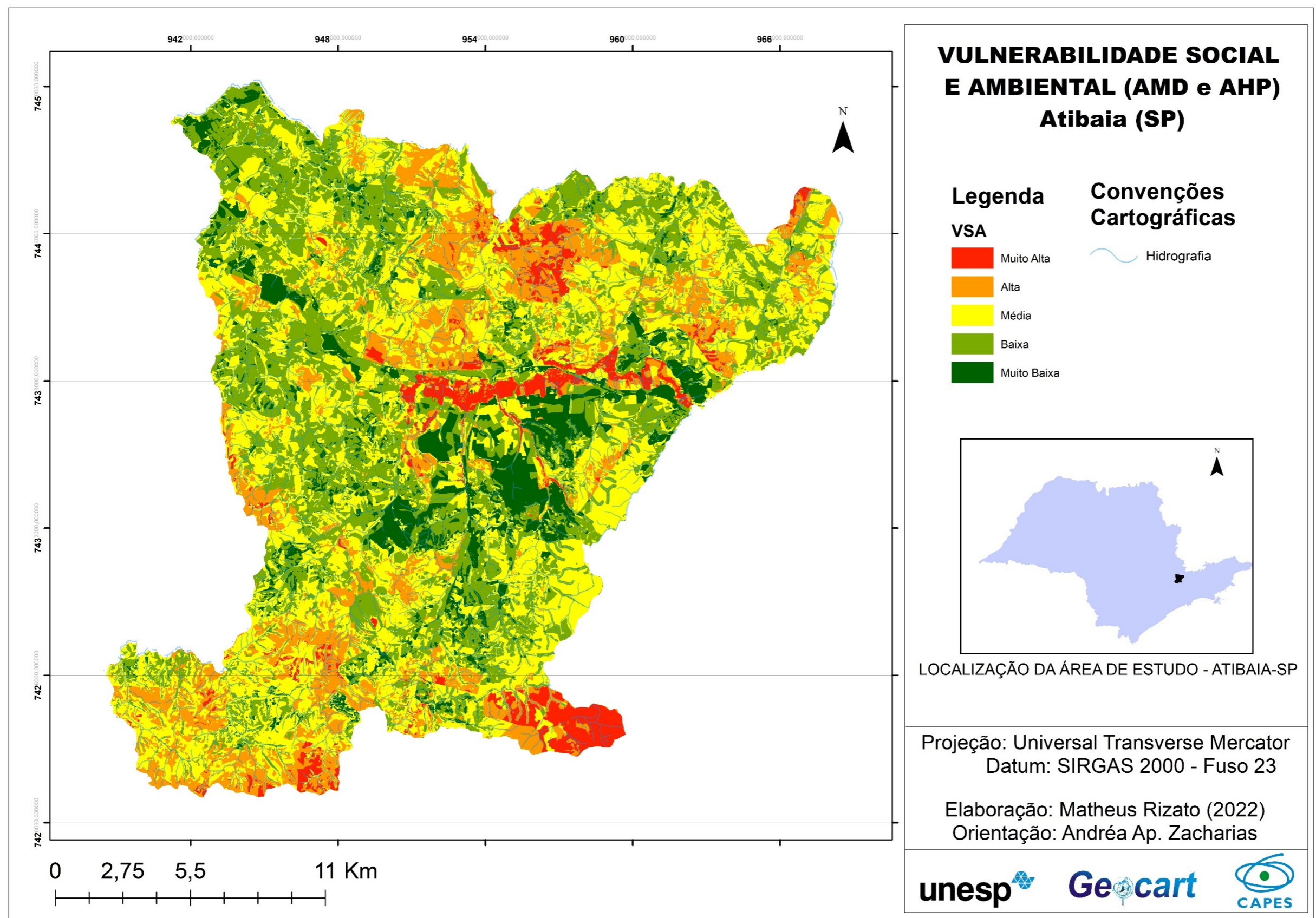


Figura 36 - Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental pelo método AMD e AHP
Fonte: Autor (2022)

Analisando os dados de acordo com o resultado do mapa, pode-se notar que esse modelo de análise apresentou diferenças em relação ao Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental anterior (Figura 34), devido a diferença de metodologia já explanada. Vale ressaltar que, este último modelo também incorporou a totalidade da área territorial do município. Com isso, localidades onde não existem ocupação humana, como rios, vegetação nativa, áreas montanhosas e outros lugares semelhantes também foram considerados e podem ser visualizados no mapa final. Isto ocorre, pois optou-se por aplicar o modelo em toda a extensão territorial do município, contudo a metodologia poderia ser aplicada em regiões mais específicas filtrando apenas áreas de interesse e de maior ocupação humana.

Assim, às áreas consideradas como muito alta vulnerabilidade representam o total de 4,8% da extensão total do município enquanto as áreas classificadas como alta representam o total de 16%. Estas classificações ficaram concentradas na região central, principalmente ao longo da extensão do rio Atibaia, incorporando áreas de vertente e várzea e que ocorre intensa urbanização e ocupação humana. De acordo com a CPRM e a Defesa Civil do município, nesta região central, há relatos de eventos de risco, uma vez que nos períodos de alta precipitação o volume do rio aumenta e a intensa urbanização, por vezes até irregular, somada a alta impermeabilidade do solo podem causar enchentes e alagamentos para a população residente nesses locais.

Além, observa-se que as áreas consideradas de muito alta e alta vulnerabilidade localizam-se na parte mais ao norte do município. Nesta região, além das enchentes e alagamentos, existe o histórico de movimentos e/ou deslizamentos, uma vez que a declividade é bem acentuada. Ocupações inadequadas em áreas de alto declive corroboram para que estas localidades sejam consideradas como muito alta e alta VSA. Por outro lado, também se observa, na parte sul do município algumas regiões de muito alta e alta vulnerabilidade. Essas regiões apresentam baixa ocupação humana e a maior parte da área é representada por vegetação nativa ou áreas de agricultura. O modelo aqui adotado classificou essas áreas desta forma, pois estas localidades apresentam baixa Capacidade de Suporte e alta Criticidade principalmente por apresentar baixa

infraestrutura urbana, contudo a baixa densidade populacional faz com que os possíveis eventos de risco atinjam parcela menor da população.

As regiões consideradas como média vulnerabilidade alcançaram o total de 39,4% do total de toda a extensão territorial do município. Essas áreas estão bem distribuídas pelo território, na maioria das vezes próximas as regiões de alta e muito alta vulnerabilidade. São localidades onde houve um equilíbrio maior entre criticidade e capacidade de suporte, além de apresentar infraestrutura urbana média que permite um certo preparo para essas regiões em enfrentar possíveis eventos de risco. Na maior parte destas localidades, historicamente ocorreram poucos eventos de risco como inundações, enxurradas e movimentos e/ou deslizamentos. Apenas ocorreram eventos específicos mais atrelados a tempestades sazonais ao invés de eventos regulares, como observado em áreas de alto e muito alto risco.

Já as áreas consideradas como baixa e muito baixa vulnerabilidade representam 30,7% e 9,1% respectivamente e estão bem distribuídas por todo o município. Às áreas consideradas de muito baixa estão concentradas na parte central do município, mais distante do leito do Rio Atibaia. São localidades onde nota-se baixa criticidade e alta capacidade de suporte, principalmente pela maior quantidade de infraestrutura urbana. Além disso, nota-se que nestas áreas, as moradias representam característica de alto poder aquisitivo por parte da população local.

A Tabela 14 quantifica a área total de cada classe do Mapa de VSA e a sua representatividade em porcentagem no município, onde se observa uma maior concentração na classe média (39%) de VSA, seguidos pela baixa (30,7%), alta (16%), muito baixa (9,1%) e muito alta (4,8%). E, também, destaca o quantitativo de imóveis distribuídos no Mapa de VSA (Figura 37), em cada classe mapeada pelos métodos AMD e AHP, cuja espacialização concentra maior quantidade de imóveis na classe muito baixa (37%), seguida pela baixa (28,9%), média (25,2%), alta (5,1%) e muito alta (3,9%).

Tabela 14 - Distribuição Espacial da Vulnerabilidade Social e Ambiental (AMD e AHP) e Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental

Vulnerabilidade Social e Ambiental	Área em km²	%	Total de imóveis	%
Muito Baixa	43,4	9,1	38.102,0	37,0
Baixa	145,8	30,7	29.753,0	28,9
Média	187,2	39,4	25.934,0	25,2
Alta	76,0	16,0	5.236,0	5,1
Muito Alta	22,7	4,8	4.014,0	3,9
Total	475,11	100,0	103.039,0	100,0

Fonte: Autor (2022)

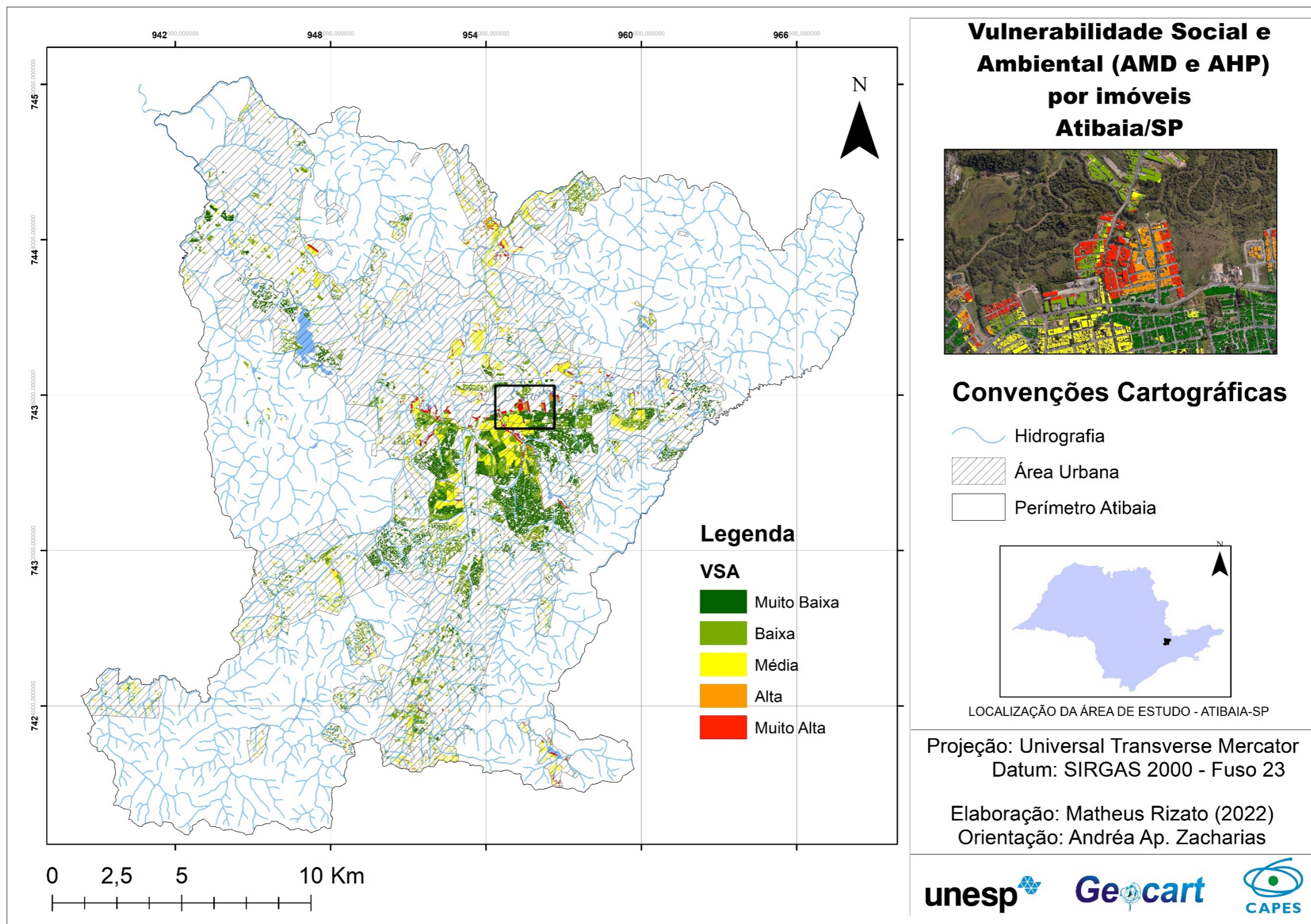


Figura 37 - Vulnerabilidade Social e Ambiental (AMD e AHP) por imóveis
Fonte: Autor (2022)

6.5. A Cartografia Ambiental de Síntese e as áreas com VSA suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos

O Mapa final da VSA possibilitou uma visão sistêmica das localidades com maior ou menor suscetibilidades aos fenômenos modelados, onde foi possível fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos, neste trabalho com o que de fato acontece na realidade do ambiente da paisagem do município. Esta comparação se deu através do cruzamento dos dados levantados em campo, da compilação dos dados históricos de ocorrência de desastres obtidos pelo poder público, pela análise das informações divulgadas pela imprensa e, por órgãos oficiais para esse tipo de análise, como a CPRM e o Plano de Contingência do município de Atibaia, assim como abordado no item 6.2.

As análises dos dados obtidos foram inventariadas na Cartografia Ambiental de Síntese – o Mapa de Vulnerabilidade Social e Ambiental de Atibaia/SP - (Figura 38), composta pelo reconhecimento de 08 (oito) áreas com maior e menor vulnerabilidade social e ambiental, inseridas no ambiente da paisagem urbana de Atibaia/SP/Brasil, que são suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos.

As oito áreas, foram (re)nomeadas em 8 (oito) cenário de “A” a “H” e destacadas as localidades com maiores valores de VSA. Assim, foi possível apresentar maior acuidade, acuracidade e aferição da metodologia aplicada diante das realidades observadas com a realidade em campo e o histórico de ocorrências de desastres no município.

MAPA DE VULNERABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL - Atibaia (SP)

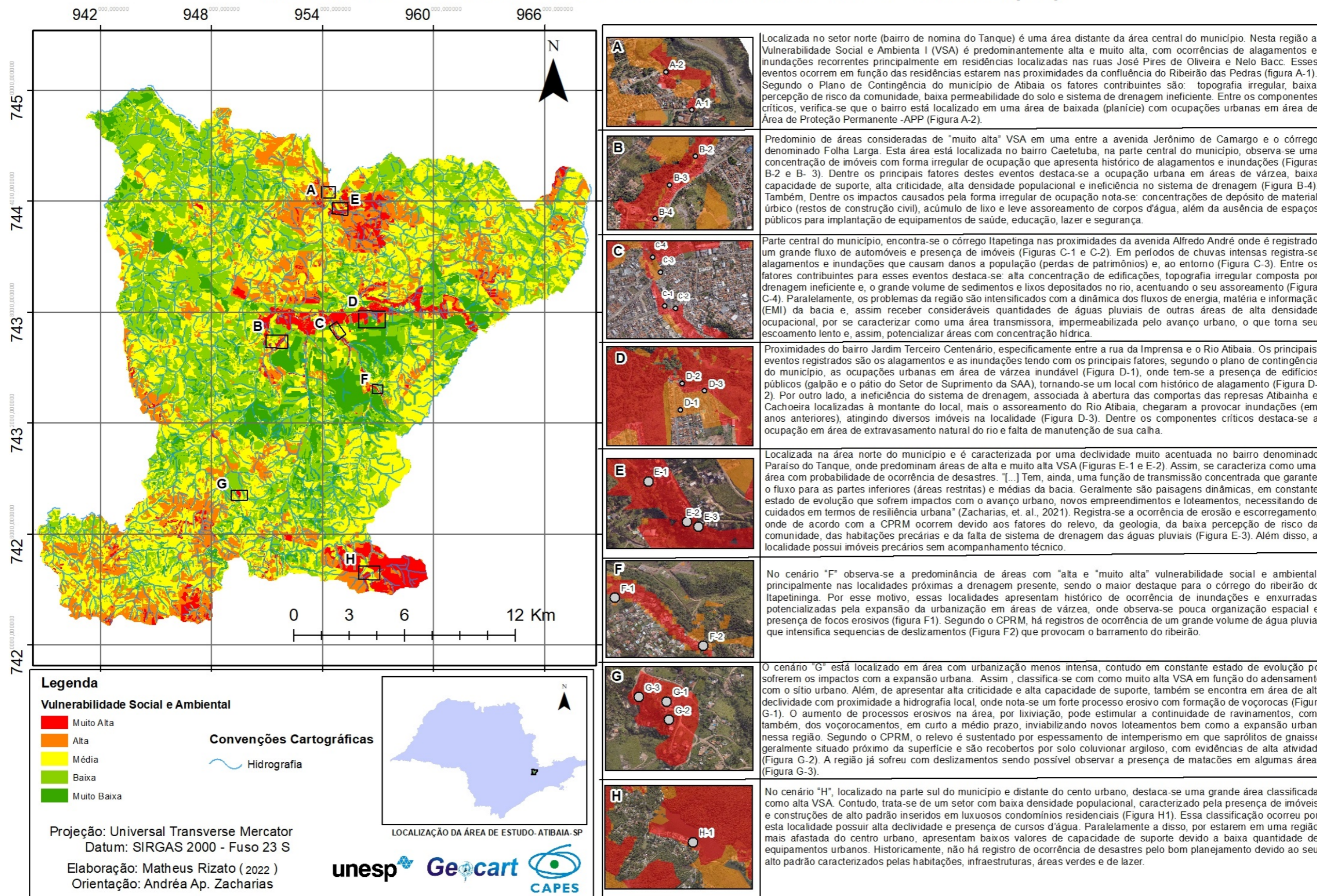


Figura 38 - Cartografia Ambiental de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental
 Fonte: Autor (2022)

De forma geral, o Mapa Ambiental de Síntese com o reconhecimento das 8 (oito) áreas com VSA, fornece uma visão geral voltada à avaliação e o reconhecimento dos principais problemas identificados na área de estudo, que podem servir de subsídios para o fomento de políticas públicas voltadas à mitigação dos danos causados em áreas suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos.

Contudo, a elaboração de uma cartografia de síntese, com as estruturas verticais e horizontais da paisagem, agrega mais dados para a tomada de decisão, por apresentar: **a)** o detalhamento sobre o estado ambiental da paisagem e; **b)** objetividade diante da complexidade da realidade geográfica de uma determinada localidade.

Segundo Zacharias *et al.* (2021), através da cartografia de síntese, com as estruturas verticais e horizontais, é possível: **a)** a observação e a sistematização dos vários processos sociais e naturais presentes no ambiente da paisagem e; **b)** melhor entendimento da dinâmica sistêmica e suas interações, frente aos diferentes componentes físicos e antrópicos inseridos nos diferentes ambientes da paisagem.

Vantagens supracitadas, das quais Santos (2022), pontua que:

[...] ao gestor, tal procedimento técnico no cenário gráfico, possibilita realizar análises mais próximas ao real, estabelecendo relações sistêmicas entre os componentes físicos e antrópicos como forma de diferenciar os agravantes que tornam os impactos mais ou menos significativos dentro de um cenário complexo, considerando o contexto urbano (SANTOS, 2022, p. 62, grifo nosso).

6.4.1 A Cartografia de Síntese com as Estruturas Verticais e Horizontais da Paisagem e o Estado Ambiental das Áreas de VSA

A partir do Mapa Ambiental de Síntese, com o reconhecimento das 8 (oito) áreas com VSA, foi possível obter Cartografia de Síntese com as estruturas verticais e horizontais da paisagem, além do diagnóstico do estado ambiental das áreas de VSA suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos do Município de Atibia/SP/Brasil.

Estas influências e dinâmicas foram denominadas aqui como estruturas verticais e horizontais. As estruturas verticais indicaram a hierarquização de 05 (cinco) classes taxonômicas, divididas entre setores “muito alto”, “alto”, “médio”, “baixo” e

“muito baixo”, definidas conforme o grau de importância e a intensidade do ambiente aos fenômenos de ordem hidrológica e hidrogeológica. Ao passo que, as estruturas horizontais, a partir da reclassificação das classes taxonômicas, também resultaram em novas subclasses, identificadas a partir dos componentes e elementos geográficos, que caracterizam as diferenças e as semelhanças evidenciadas pelas intensidades nos graus da VSA e, que possibilitou a hierarquização do cenário gráfico de forma similar à dinâmica que se observa dentro do ambiente da paisagem urbana.

A partir dessa individualização, posta pelos cenários gráficos, foi possível descompartmentar as estruturas verticais de “muito alto” e “alto”, em novas subclasses nas estruturas horizontais que permitiram pormenorizar as diferentes intensidades que o fenômeno atinge de acordo com VSA. Desse modo, as classes de grau “muito alto” e “alto” passaram a ser compostas por duas subclasses denominadas Setor A e Setor B, onde a classe principal foi setorizada em dois grupos caracterizados em função das variações de declividade do local, do histórico de ocorrência de eventos de desastres, da densidade urbana avaliada pela quantidade de imóveis e pelos valores de criticidade e capacidade de suporte observado em cada localidade destacada.

As classes consideradas como “média”, “baixa” e “muito baixa” VSA, não foram reclassificadas dentro desta nova subdivisão horizontal no mapa, em função de estas localidades não apresentarem grandes diferenças entre as variáveis consideradas e por manterem uma certa homogeneidade diante dos poucos registros de ocorrência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos. A Tabela 15 destaca os principais critérios utilizados para a classificação horizontal das áreas de análise destacadas.

Tabela 15 - Critérios para obtenção das estruturas horizontais na cartografia de Síntese

ESTRUTURA VERTICAL	ESTRUTURA HORIZONTAL			
	Criticidade e Capacidade de Suporte	Densidade Urbana	Declividade	Histórico de Ocorrência
<u>MUITO ALTO</u>	Valores de Criticidade predominantemente “muito alto” com algumas regiões classificadas como “alto” o que corresponde a uma população com maiores dificuldades lidar com situações de risco o que aumentam a sua vulnerabilidade social e ambiental. Já para a Capacidade de Suporte, os valores têm menor regularidade apresentado os maiores índices na parte central do município e os menores em regiões periféricas.	Maior presença de imóveis nessas localidades e muitas vezes de forma desordenada o que aumenta os danos causados por enchentes, alagamentos e desmoronamentos. Estes fatos caracterizam essas áreas como regiões em constante estado de evolução por sofrerem grandes impactos pela sua alta e crescente densidade.	Presente principalmente nos valores extremos de declividades, ou seja, em localidades de muito alta (30 a 65%) ou em áreas de muito baixa (0 a 6,5%). Destacando maior ocorrência de eventos hidrogeológicos em áreas com maior declividade e hidrológicos em regiões com menor declividade.	Alta ocorrência de eventos como enchentes, inundações e escorregamentos conforme levantamento realizado. O que caracterizam essas áreas com os maiores índices de vulnerabilidade social e ambiental.
<u>ALTO</u>	Valores de Criticidade e capacidade de suporte predominantemente “Alto” com algumas localidades em “Muito Alto”. Para a Capacidade de Suporte, os valores são semelhantes ao observado na classe taxonômica “muito alto” com baixa regularidade observando-se maiores valores nas partes centrais e menores nas periferias.	Alta densidade urbana, porém menor número de imóveis em relação a classe “Muito Alta”. Área com potencial para aumento da ocupação humana, o que pode ocasionar na potencialização das condições que levam aos eventos.	Com valores predominantes entre 20 e 35%, a declividade nestas regiões é elevada o que potencializa a ocorrência de eventos como enchentes, alagamentos e até deslizamentos.	Alto histórico de ocorrências de eventos hidrológicos e hidrogeológicos, contudo a quantidade de pessoas atingidas e de eventos registrados é menor que a classe “Muito Alto”.
<u>MÉDIO,</u>	Valores de criticidade oscilando entre médio, baixo e muito baixo simbolizando uma população com melhores índices socioeconômicos. Já para a Capacidade de Suporte ocorre o predomínio de média, alta e muito alta, com alguns pontos oscilando em alta e muito alta. No geral simboliza uma boa quantidade de equipamentos urbanos que contribuem para o enfrentamento aos eventos de causas hidrológicas e hidrogeológicas.	Conforme análise dos dados de densidade de imóveis é possível observar que mais ao centro do município ocorre densidade urbana maior, porém com números inferiores em comparação às classes taxonômicas de maior vulnerabilidade. Na medida que se afasta para as áreas mais periféricas ocorre diminuição desta densidade.	Valores regulares entre 0 e 12% de declividade simbolizando pouco desnível. Predomínio de níveis topográficos mais elevados se comparando às demais classes taxonômicas. Por esses motivos se caracterizam como áreas emissoras, concentrando de médio a muito baixa probabilidades ao fenômeno de inundação.	Muito baixa ou nenhuma ocorrência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos. Contudo, não descartando a possibilidade de futuros eventos, pois em algumas localidades a ocupação ocorre através de retirada da vegetação natural para o avanço urbano.
<u>BAIXO</u>				
<u>MUITO BAIXO</u>				

Fonte: Autor (2022)

Neste sentido, Zacharias e Ventorini (2021), esclarecem que o cenário gráfico, a partir desta metodologia, traz o entendimento da dimensão (taxonômica) e da constituição (componentes e elementos geográficos), no formato da legenda descritiva e propositiva que associada à interface gráfica de sua Cartografia de Síntese, apresenta: **a)** por um lado, as influências que as ordens de grandezas, indicadas pelos graus de organização dos fenômenos atribuídos na verticalidade (taxonomias – leitura vertical,) exercem em um espaço; **b)** os quais, por outro lado, passam a ser individualizados pelos diferentes agrupamentos das características dos componentes e atributos geográficos que estão inseridos na horizontalidade do ambiente (componentes geográficos – leitura horizontal). Com base nesses aspectos, para compreender esses ambientes, torna-se necessário entender todos os seus componentes e as relações entre eles, a fim de estabelecer a verdadeira visão integrada em que a questão ambiental é avaliada em conjunto com a questão social. Somente assim tem-se uma Cartografia de Síntese dos diferentes ambientes (vertical e horizontal) na paisagem, na qual é possível fomentar políticas públicas para a gestão territorial, ambiental, com perspectivas resilientes e sustentáveis (ZACHARIAS; VENTORINI, 2021, p. 143-144).

Face ao exposto, dentre as 8 (oito) áreas identificadas no reconhecimento da VSA (Figura 38), são apresentadas as Cartografias de Sínteses com as suas respectivas análises horizontais e verticais, contendo o detalhamento das condições suscetíveis aos riscos hidrológicos e hidrogeológicos do Município de Atibia/SP/Brasil, para os 8 (oito) cenários A a H, de acordo com a metodologia já especificada.

A) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO A

Para o cenário A, a cartografia de síntese pode ser observada na figura 39, onde as classes “Muito Alta” e “Alta” apresentam sua visualização vertical enquanto os setores A e B representam o esquema de análise horizontal da paisagem.

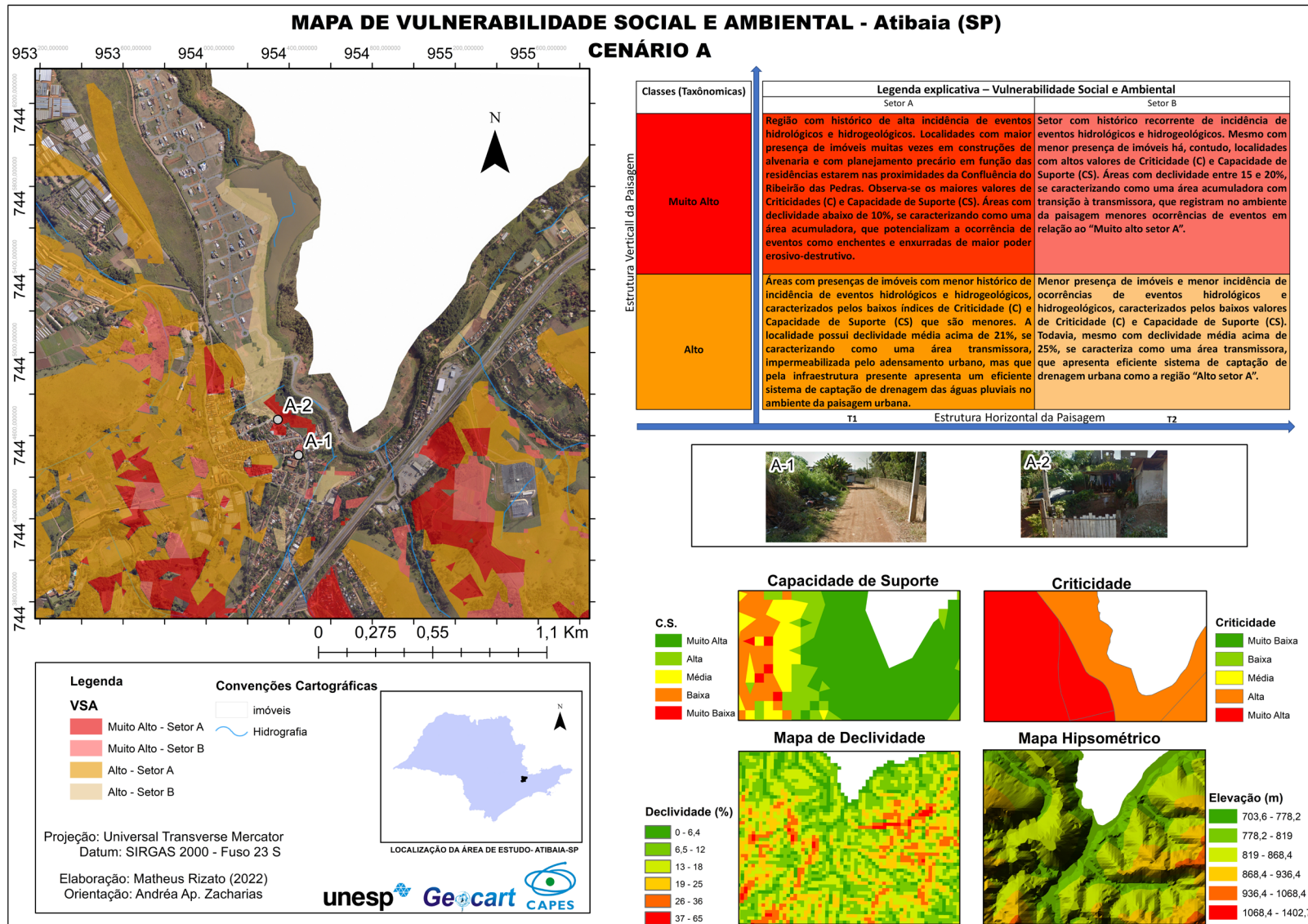


Figura 39 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário A

Fonte: Autor (2022)

Na estrutura vertical da paisagem, o Cenário A, localizado no setor norte (bairro denominado Tanque) é uma área distante do centro urbano do município. Nesta região a VSA é predominantemente “alta” e “muito alta”, com ocorrências de alagamentos e inundações, recorrentes principalmente em residências localizadas nas ruas José Pires de Oliveira e Nelo Bacc.

Esses eventos ocorrem em função das residências estarem nas proximidades da confluência do Ribeirão das Pedras (Figura 40– A2), onde de acordo com informações do Plano de Contingência do município de Atibaia/SP, os fatores contribuintes são: a) topografia irregular; b) baixa percepção de risco da comunidade; c) baixa permeabilidade do solo e; d) sistema de drenagem ineficiente.

Entre os componentes críticos, verifica-se que o bairro está localizado em uma área de baixada (planície), com ocupações urbanas em Área de Proteção Permanente - APP (Figura 40– A1).



Figura 40 - Registro Iconográfico - Cenário A

Já para a análise horizontal da paisagem, contido na classe “Muito Alta”:

(1) o setor A se caracteriza por apresentar alta incidência de ocorrência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos. Além disso, possuem imóveis, muitas vezes em construções de alvenaria e com planejamento precário, além de estarem nas proximidades da Confluência do Ribeirão das Pedras. Observa-se os maiores valores de Criticidade (C) e Capacidade de Suporte (CS) e apresentam áreas com declividade abaixo de 10%, se caracterizando como uma

área acumuladora, que potencializam a ocorrência de eventos como enchentes e enxurradas de maior poder erosivo-destrutivo.

(2) já o setor B, também, com recorrente incidência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos, mas com diferença de apresentar menor presença de imóveis, possui altos valores de Criticidade (C) e Capacidade de Suporte (CS). A declividade varia entre 15 e 20%, se caracterizando como uma área acumuladora com transição à transmissora, que registram no ambiente da paisagem menores ocorrências de eventos em relação ao “Muito alto setor A”.

Para a classe taxonômica “Alta”:

(1) o setor A destaca-se pelo menor histórico de incidência de eventos, caracterizados pelos altos índices de Criticidade (C) e médios a baixos de Capacidade de Suporte (CS). A localidade possui declividade média acima de 21%, se caracterizando como uma área transmissora, impermeabilizada pelo adensamento urbano, mas que pela infraestrutura presente possui um eficiente sistema de captação de drenagem das águas pluviais no ambiente da paisagem urbana.

(2) O setor B, com menor incidência de adensamento populacional que as anteriores, possui ocorrências pontuais de eventos hidrológicos e hidrogeológicos, caracterizados pelos baixos valores de Criticidade (C) e Capacidade de Suporte (CS). Todavia, mesmo com declividade média acima de 25%, é considerada uma área transmissora com eficiente sistema de captação de drenagem de águas pluviais.

A partir destas considerações, a Tabela 16 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário A. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 7,29%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 6,83%, respectivamente.

Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 17), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (5,66%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (36,7%).

Tabela 16 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário A

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese – Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário A (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	0,04	0,17
Baixa	145,8	30,7	Baixo	3,65	15,76
Média	187,2	39,4	Médio	9,28	40,07
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	8,1	34,97
			Alto (Setor B)	0,4	1,73
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	1,4	6,04
			Muito alto (Setor B)	0,29	1,25
Total	475,11	100,0	Total	23,16	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 17 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental Cenário A

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário A (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	37	1,09
Baixa	29.753	28,9	Baixo	360	10,65
Média	25.934	25,2	Médio	1.128	33,37
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	503	14,88
			Alto (Setor B)	930	27,51
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	313	9,26
			Muito alto (Setor B)	109	3,22
Total	103039	100,0	Total	3380	100%

Fonte: Autor (2022)

B) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO B

Observando o detalhamento da Cartografia de Síntese (Figura 41) do **cenário B**, as classes “Muito Alta” e “Alta” apresentam sua visualização vertical, enquanto os setores A e B representam a análise horizontal da paisagem.

Assim, trata-se de uma região central do município, no qual de maneira geral ocorre: **(1)** um maior adensamento populacional; **(2)** indícios de crescimento gradual no volume de ocupações urbanas em áreas de várzea, apresentando uma ineficiência no sistema de drenagem (Figura 42- B-4) e; **(3)** concentração de imóveis com forma irregular de ocupação que registra históricos de alagamentos e inundações (Figura 42 - B2 e B3), como, também, sérios impactos causados pelas concentrações de depósito de material úrbico, acúmulo de lixo e leve assoreamento de corpos d'água, além da ausência de espaços públicos para implantação de equipamentos de saúde, educação, lazer e segurança. Todos estes fatos contribuem para o aumento das ocorrências de eventos.

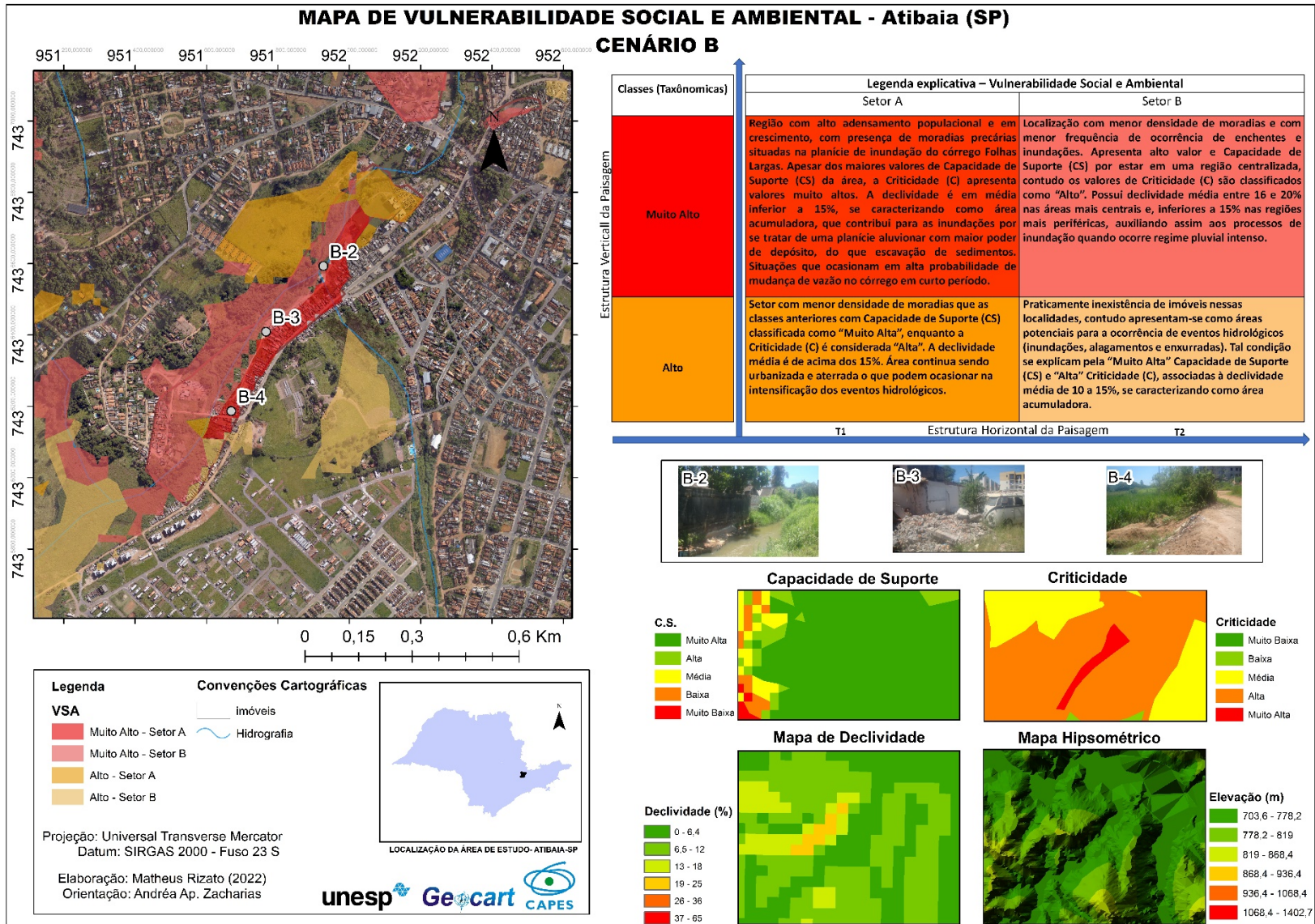


Figura 41 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário B
Fonte: Autor (2022)



Figura 42 - Registro Iconográfico - Cenário B

Na análise horizontal, inserido na classe vertical “Muito Alta”:

(1) o setor A, revela a presença de moradias precárias situadas na planície de inundação do córrego Folhas Largas. Apesar dos altos valores de Capacidade de Suporte (CS) da área, a Criticidade (C) apresenta valores ainda maiores. A declividade é em média inferior a 15%, se caracterizando como área acumuladora, que contribui para as inundações por se tratar de uma planície aluvionar com maior poder de depósito, do que escavação de sedimentos. Situações que ocasionam em alta probabilidade de mudança de vazão no córrego em curto período;

(2) já o setor B, caracteriza-se pela menor ocorrência de enchentes e inundações em relação ao anterior. Apresenta alto valor e Capacidade de Suporte (CS) por estar em uma região centralizada, contudo, os valores de Criticidade (C) são menores. Possui declividade média entre 16 e 20% nas áreas mais centrais e, inferiores a 15% nas regiões mais periféricas, auxiliando assim aos processos de inundação quando há ocorrência de regime pluvial mais intenso.

Para a Classe taxonômica classificada como “Alta”, percebe-se menor densidade populacional em comparação a anterior, assim:

(1) O setor A possui Capacidade de Suporte (CS) classificada como “Muito Alta”, enquanto a Criticidade (C) é considerada “Alta”. A declividade média é de acima dos 15%, importante destacar que estas localidades continuam sendo urbanizadas e aterradas o que podem ocasionar na intensificação dos eventos hidrológicos.

(2) Já o setor B é observado vazios urbanos, mas com potencial para a ocorrência de eventos hidrológicos caso ocorra uma futura ocupação populacional. Tais condições se explicam pela “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “Alta” Criticidade (C), associadas à declividade média de 10 a 15%, se caracterizando como área acumuladora.

A partir destas considerações, a Tabela 18 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário B. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 30,78%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 6,83%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 19), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (5,66%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (2,76%).

Tabela 18 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário B

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese –Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário B (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	1,86	17,66
Baixa	145,8	30,7	Baixo	2,60	24,69
Média	187,2	39,4	Médio	2,11	20,04
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	0,21	1,99
			Alto (Setor B)	0,51	4,84
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,04	0,39
			Muito alto (Setor B)	3,20	30,39
Total	475,11	100,0	Total	10,53	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 19 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental Cenário B

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário B (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	2444	35,39
Baixa	29.753	28,9	Baixo	2717	39,35
Média	25.934	25,2	Médio	1162	16,83
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	63	0,91
			Alto (Setor B)	128	1,85
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	185	2,68
			Muito alto (Setor B)	206	2,98
Total	103039	100,0	Total	6905	100%

Fonte: Autor (2022)

C) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – **CENÁRIO C**

O Cenário C, também está localizado no centro urbano do município, o (Figura 43), caracteriza-se por uma região com maior quantidade de equipamentos urbanos, que pode ser comprovado pelos altos índices de Capacidade de Suporte (CS). Contudo, o seu histórico de ocupação não planejada, sobretudo próximo aos corpos hídricos presentes nessa região, intensifica a ocorrência de eventos hidrológicos, principalmente em períodos de intenso volume pluviométrico.

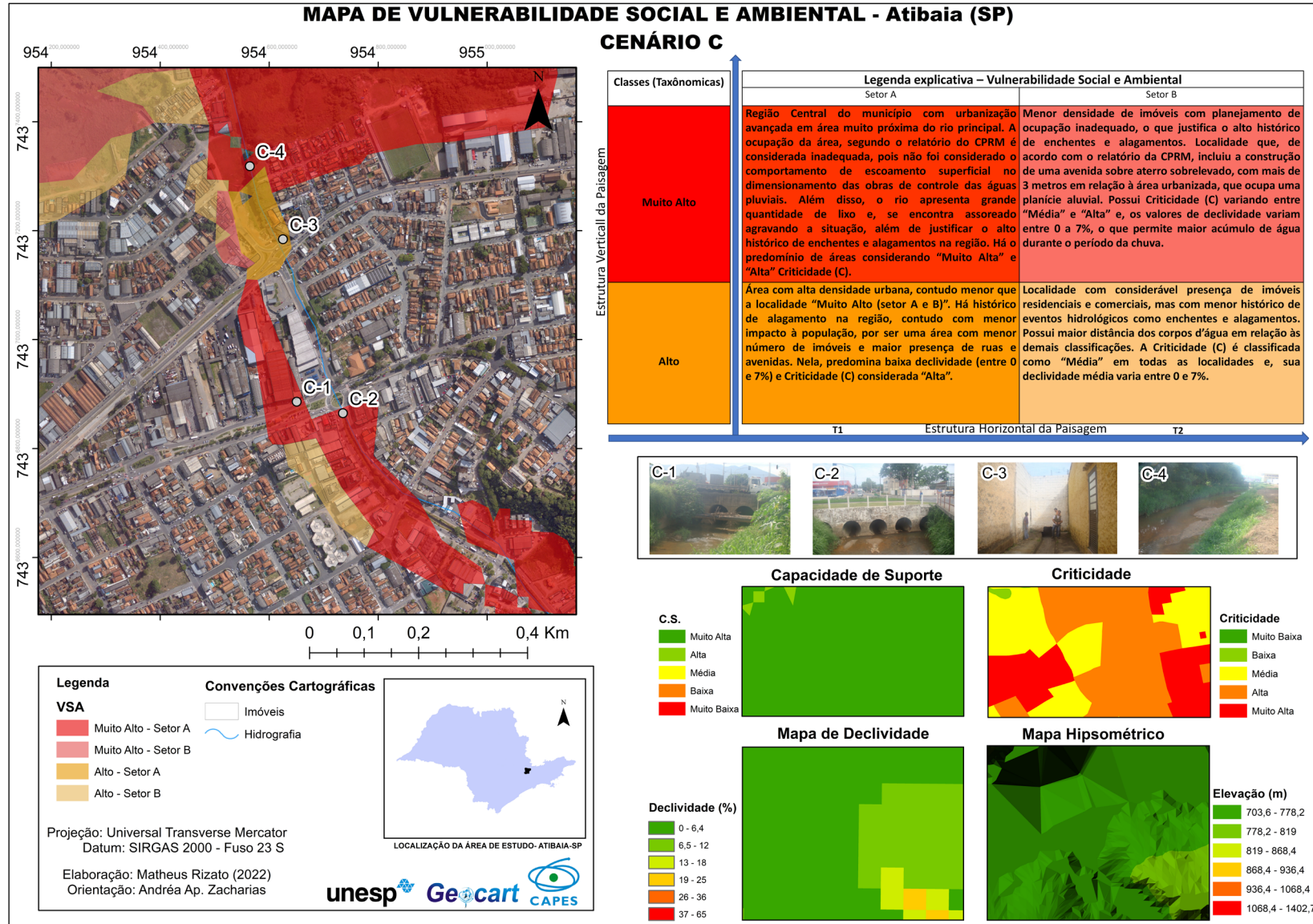


Figura 43 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário C
Fonte: Autor (2022)

Localizado próximo ao córrego Itapetinga nas proximidades da avenida Alfredo André, nesta localidade é registrado um grande fluxo de automóveis e presença de imóveis (Figura 44- C1 e C2). Em períodos de chuvas intensas registra-se alagamentos e inundações que causam danos a população (perdas de patrimônios) e, ao entorno (Figura 44 -C3). Entre os fatores contribuintes para esses eventos destaca-se: alta concentração de edificações, topografia irregular composta por drenagem ineficiente e, o grande volume de sedimentos e lixos depositados no rio, acentuando o seu assoreamento (Figura 44 - C4).

Paralelamente, os problemas da região são intensificados com a dinâmica dos fluxos de energia, matéria e informação (EMI) da bacia e, assim receber consideráveis quantidades de águas pluviais de outras áreas de alta densidade ocupacional, por se caracterizar como uma área transmissora, impermeabilizada pelo avanço urbano, o que torna seu escoamento lento e, assim, potencializar áreas com concentração hídrica.



Figura 44 - Registro Iconográfico - Cenário C

Do ponto de vista horizontal, na classe “Muito Alta”:

(1) o setor A, apresenta os maiores índices de urbanização e ocupações inadequadas, pois não foi considerado o comportamento de escoamento superficial no dimensionamento das obras de controle das águas pluviais. Além disso, o rio apresenta grande quantidade de lixo e, se encontra assoreado agravando a situação. Há o predomínio de áreas considerando “Muito Alta” e “Alta” Criticidade (C);

(2) para o setor B, observa-se redução do adensamento urbano em relação ao setor anterior. Possui Criticidade (C) variando entre “Média” e “Alta” e, os valores de declividade oscilam entre 0 e 7%. Além disso, de acordo com o relatório da CPRM, a localidade possui uma avenida sobre aterro sobrelevado, com mais de 3 metros em relação à área urbanizada ocupando uma planície aluvial, o que permite maior acúmulo de água durante o período da chuva.

Para as localidades consideradas, na classificação horizontal como “Alta” vulnerabilidade social e ambiental, a divisão horizontal denominada:

(1) setor A, igualmente, possui histórico de ocorrência de alagamentos, contudo com menor impacto à população, por ser uma área com baixa presença de imóveis e maior presença de ruas e avenidas. Nela, predomina baixa declividade (entre 0 e 7%) e Criticidade (C) considerada “Alta”;

(2) para o setor B, a presença de imóveis comerciais e residenciais é maior, mas com menor histórico de eventos hidrológicos como enchentes e alagamentos. Possui maior distância dos corpos d’água em relação às demais classificações. A Criticidade (C) é classificada como “Média” em todas as localidades e, sua declividade média varia entre 0 e 7%.

A partir destas considerações, a Tabela 20 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário C. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 61,37%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 0,95%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 21), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (9,27%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (4,06%).

Tabela 20 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário C

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese –Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário C (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	0,26	4,13
Baixa	145,8	30,7	Baixo	0,56	8,90
Média	187,2	39,4	Médio	1,55	24,64
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	0,01	0,16
			Alto (Setor B)	0,05	0,79
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,62	9,86
			Muito alto (Setor B)	3,24	51,51
Total	475,11	100,0	Total	6,29	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 21 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário C

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário C (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	400	14,77
Baixa	29.753	28,9	Baixo	318	11,74
Média	25.934	25,2	Médio	1.629	60,16
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	13	0,48
			Alto (Setor B)	97	3,58
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	231	8,53
			Muito alto (Setor B)	20	0,74
Total	103039	100,0	Total	2708	100%

Fonte: Autor (2022)

D) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO D

Ainda no centro urbano do município, o Cenário D, fica nas proximidades do bairro Jardim Terceiro Centenário, especificamente entre a rua da Imprensa e o Rio Atibaia, a cartografia de síntese deste cenário pode ser visualizada na Figura 46.

Os principais eventos registrados neste cenário são os alagamentos e as inundações tendo como os principais fatores, segundo o plano de contingência do município, as ocupações urbanas em área de várzea inundável (Figura 45- D1), onde tem-se a presença de edifícios públicos (galpão e o pátio do Setor de Suprimento da SAA), tornando-se um local com histórico de alagamento (Figura 45- D2).

Por outro lado, a ineficiência do sistema de drenagem, associada à abertura das comportas das represas Atibainha e Cachoeira localizadas à montante do local, mais o assoreamento do Rio Atibaia, chegaram a provocar inundações, atingindo diversos imóveis na localidade (Figura 45- D3). Dentre os componentes críticos destaca-se a ocupação em área de extravasamento natural do rio e falta de manutenção de sua calha.



Figura 45 - Registro Iconográfico - Cenário D

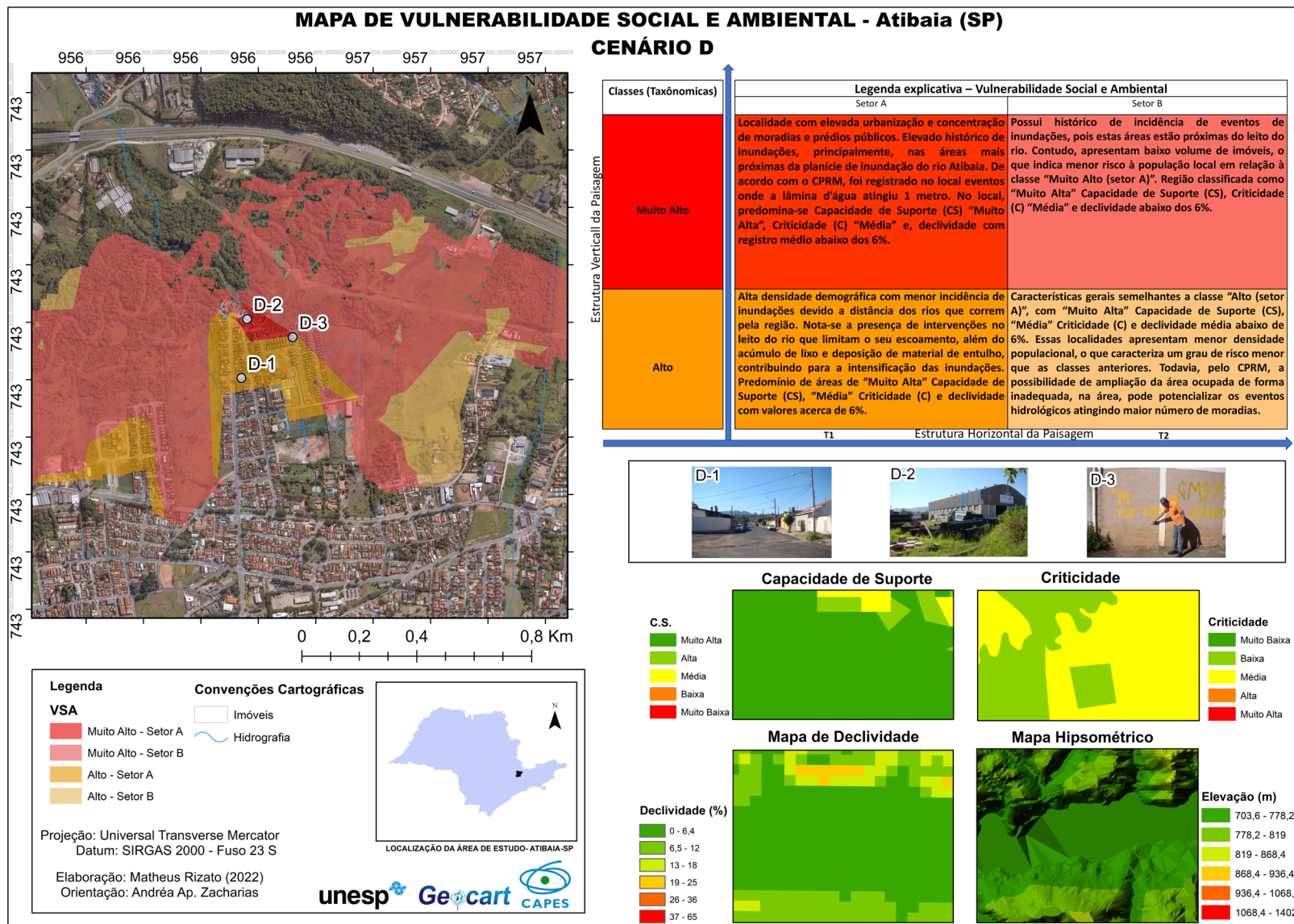


Figura 46 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário D
Fonte: Autor (2022)

Para a análise horizontal da paisagem, na área representada pela classe taxonômica “Muito Alta”:

(1) o setor A é caracterizado por apresentar os maiores índices de concentração de moradias e de prédios públicos. Além disso, possui elevado histórico de inundações, principalmente, nas áreas mais próximas da planície de inundação do rio Atibaia. De acordo com o CPRM, foi registrado no local eventos onde a lâmina d’água atingiu 1 metro. No local, predomina-se Capacidade de Suporte (CS) “Muito Alta”, Criticidade (C) “Média” e, declividade com registro médio abaixo dos 6%;

(2) para o setor B, as áreas estão mais próximas do leito do rio, o que pode também ocasionar em ocorrências de enchentes e alagamentos. Contudo, apresentam baixo volume de imóveis, o que explica sua maior diferença em relação ao setor anterior. Esta localidade é classificada como “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS), Criticidade (C) “Média” e declividade abaixo dos 6%.

As localidades classificadas como “Alta” Vulnerabilidade social e ambiental para o:

(1) setor A, apresentam características de maior densidade urbana, todavia, em relação as classes anteriores, possui menor incidência de inundações devido a maior distância dos rios que correm pela região. Nota-se a presença de intervenções no leito do rio que limitam o seu escoamento, além do acúmulo de lixo e deposição de material de entulho, contribuindo para a intensificação das inundações. Predomínio de áreas de “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS), “Média” Criticidade (C) e declividade com valores acerca de 6%;

(2) já o setor B, apresenta características gerais semelhantes a classe “Alto (setor A)”, com “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS), “Média” Criticidade (C) e declividade média abaixo de 6%. Essas localidades apresentam menor densidade populacional, o que caracteriza um grau de risco menor que as classes anteriores. Todavia, pelo CPRM, a possibilidade de ampliação da área ocupada de forma inadequada pode potencializar os eventos hidrológicos atingindo maior número de moradias.

A partir destas considerações, a Tabela 22 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário D. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 20,79%, a partir do

somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 3,2%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 23), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (9,27%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (4,06%).

Tabela 22 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário D

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese – Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário D (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	6,02	64,18
Baixa	145,8	30,7	Baixo	0,87	9,28
Média	187,2	39,4	Médio	0,24	2,56
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	0,15	1,6
			Alto (Setor B)	0,15	1,6
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,01	0,11
			Muito alto (Setor B)	1,94	20,68
Total	475,11	100,0	Total	9,38	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 23 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário D

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese por imóveis – Figura 37)			Detalhamento da VSA – Cenário D (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	400	14,77
Baixa	29.753	28,9	Baixo	318	11,74
Média	25.934	25,2	Médio	1.629	60,16
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	13	0,48
			Alto (Setor B)	97	3,58
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	231	8,53
			Muito alto (Setor B)	20	0,74
Total	103039	100,0	Total	2708	100%

Fonte: Autor (2022)

E) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO E

Localizada na área norte do município o cenário E é caracterizado por uma declividade muito acentuada o que destaca maior incidência de eventos de escorregamento em relação a inundações e alagamentos. Na Figura 47, pode ser observado o esquema relacionado as estruturas verticais e horizontais da paisagem do Cenário E.

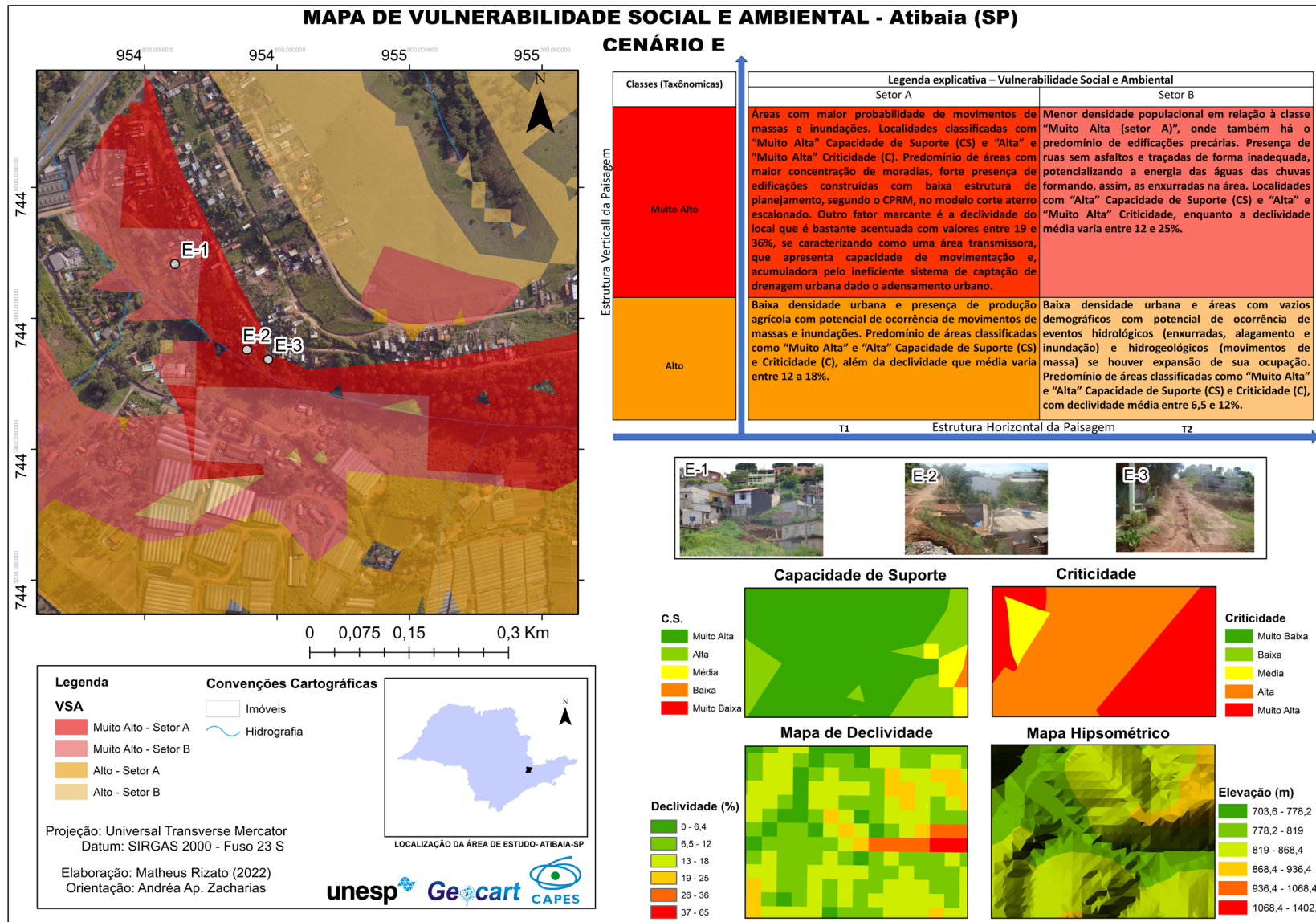


Figura 47 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário E
Fonte: Autor (2022)

Localizado no bairro denominado Paraíso do Tanque, neste cenário predominam áreas de “alta” e “muito alta” vulnerabilidade social e ambiental com habitações de baixa estrutura socioeconômica (Figura 48 - E1 e E2). Assim, se caracteriza como uma área com probabilidade de ocorrência de desastres. “[...] Tem, ainda, uma função de transmissão concentrada que garante o fluxo para as partes inferiores (áreas restritas) e médias da bacia. Geralmente são paisagens dinâmicas, em constante estado de evolução que sofrem impactos com o avanço urbano, novos empreendimentos e loteamentos, necessitando de cuidados em termos de resiliência urbana” (Zacharias, et. al., 2021). Registra-se presença de erosão e escorregamento, onde de acordo com a CPRM ocorrem devido aos fatores do relevo, da geologia, da baixa percepção de risco da comunidade, das habitações precárias e da falta de sistema de drenagem das águas pluviais (Figura 48- E3 e E4). Além disso, a localidade possui imóveis precários sem acompanhamento técnico.



Figura 48 - Registro Iconográfico - Cenário E

Na leitura horizontal, para a classe taxonômica considerada “Muito Alta” relacionada ao:

(1) setor A, existe maior concentração de localidades com considerável probabilidade de movimentos de massas e inundações. Regiões classificadas com “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “Alta” e “Muito Alta” Criticidade (C). Predomínio de áreas com maior concentração de moradias, forte presença de edificações construídas com baixa estrutura de planejamento, segundo o CPRM, no modelo corte aterro escalonado. Outro fator marcante é a declividade do local que é bastante acentuada com valores entre 19 e 36%, se caracterizando como uma área transmissora, que apresenta capacidade de movimentação e, acumuladora pelo ineficiente sistema de captação de drenagem dado o adensamento urbano;

(2) O setor B, caracteriza-se pela menor densidade populacional em relação a anterior, onde também há o predomínio de edificações precárias. Presença de ruas sem asfaltos e traçadas de forma inadequada, potencializando a energia das águas das chuvas formando, assim, as enxurradas na área. Localidades com “Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “Alta” e “Muito Alta” Criticidade, enquanto a declividade média varia entre 12 e 25%.

Para as áreas de “Alta” vulnerabilidade social e ambiental:

(1) o setor A, caracteriza-se pela baixa densidade urbana e pela presença de produção agrícola com potencial de ocorrência de movimentos de massas e inundações. Predomínio de áreas classificadas como “Muito Alta” e “Alta” Capacidade de Suporte (CS) e Criticidade (C), além da declividade média que varia entre 12 e 18%.

já para o setor B, observa-se menos moradias, além de áreas com vazios demográficos, porém com potencial de ocorrência de enxurradas, alagamento e inundação além de movimentos de massa se houver expansão de sua ocupação. Predomínio de áreas classificadas como “Muito Alta” e “Alta” Capacidade de Suporte (CS) e Criticidade (C), com declividade média entre 6,5 e 12%. A partir destas considerações, a Tabela 24 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário E. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 2,58%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 52,49%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela

25), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (18,87%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (8,07%).

Tabela 24 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário E

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese – Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário E (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	0	0
Baixa	145,8	30,7	Baixo	0,01	0,09
Média	187,2	39,4	Médio	5,22	44,85
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	5,94	51,03
			Alto (Setor B)	0,17	1,46
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,11	0,95
			Muito alto (Setor B)	0,19	1,63
Total	475,11	100,0	Total	11,64	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 25 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário E

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário E (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	0	0
Baixa	29.753	28,9	Baixo	17	2,94
Média	25.934	25,2	Médio	258	44,56
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	26	4,49
			Alto (Setor B)	97	3,58
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	105	18,13
			Muito alto (Setor B)	20	0,74
Total	103039	100,0	Total	2708	100%

Fonte: Autor (2022)

F) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO F

Localizada mais ao Leste do município e mais distante do centro urbano, o cenário F apresenta média densidade demográfica com presença de imóveis com médio a alto nível socioeconômico, contudo, com proximidade a corpos d'água e declividade média mais acentuada. Na Figura 49 consta o esquema contendo o mapa das estruturas verticais e horizontais deste cenário analisado.

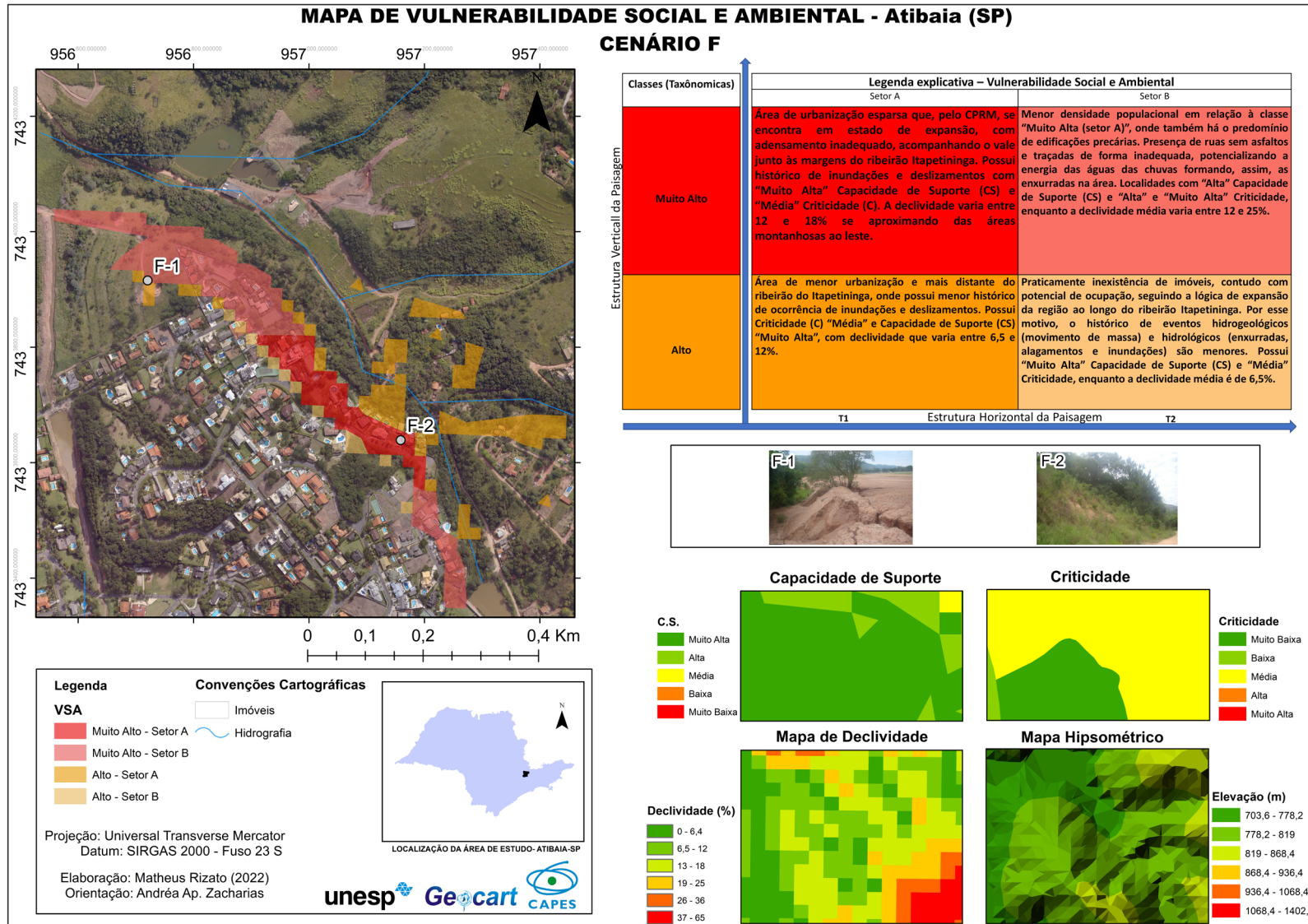


Figura 49 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário F
Fonte: Autor (2022)

No cenário “F” observa-se nas regiões mais próximas a vegetação nativa como áreas de “alta e “muito alta” vulnerabilidade social e ambiental, principalmente nas localidades próximas a drenagem presente, sendo o maior destaque para o córrego do ribeirão do Itapetininga. Por esse motivo, essas localidades apresentam histórico de ocorrência de inundações e enxurradas, potencializadas pela expansão da urbanização em áreas de várzea, onde observa-se presença de focos erosivos (Figura 50 - F1). Segundo o CPRM, há registros de ocorrência de um grande volume de água pluvial que intensifica sequencias de deslizamentos (Figura 50- F2) que provocam o barramento do ribeirão.

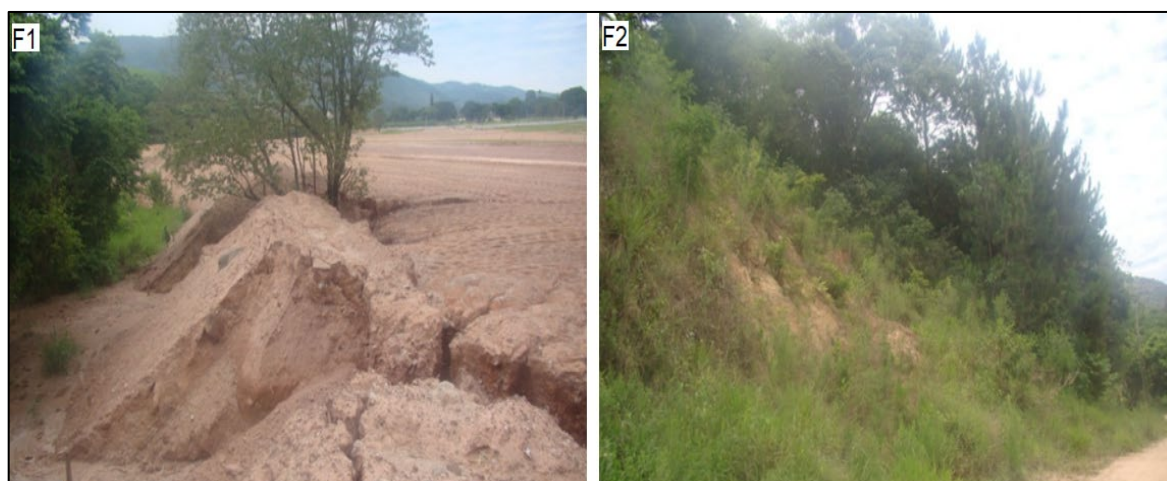


Figura 50 - Registro Iconográfico - Cenário F

Horizontalmente, na classe taxonômica “Muito Alta”:

(1) para o setor A, relacionado, a área é considerada de urbanização esparsa que, pelo CPRM, se encontra em estado de expansão, com adensamento inadequado, acompanhando o vale junto às margens do ribeirão Itapetininga. Possui histórico de inundações e deslizamentos com “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “Média” Criticidade (C). A declividade varia entre 12 e 18% se aproximando das áreas com maiores declividades ao leste;

(2) O setor B, da mesma classe taxonômica, apresenta pequena diminuição da densidade populacional em relação à classe “Muito Alta (setor A)”. Em algumas localidades, é possível observar a presença de ruas sem asfaltos e traçadas de forma inadequada, potencializando a energia das águas das chuvas formando, assim, as enxurradas na área. Localidades com “Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “média” Criticidade (C), enquanto a declividade média varia entre 12 e 25%.

Para a classe “Alta”:

(1) o setor A, a região apresenta ainda menor número de habitações, além de estar mais distante do ribeirão do Itapetininga, onde possui menor histórico de ocorrência de inundações e deslizamentos. Possui Criticidade (C) “Média” e Capacidade de Suporte (CS) “Muito Alta”, com declividade que varia entre 6,5 e 12%;

(2) para o setor B, possui baixa ocorrência de eventos hidrológicos, contudo com potencial de ocupação, seguindo a lógica de expansão da região ao longo do ribeirão Itapetininga. O histórico de eventos hidrogeológicos (movimento de massa) e hidrológicos (enxurradas, alagamentos e inundações) são menores. Possui “Muito Alta” Capacidade de Suporte (CS) e “Média” Criticidade, enquanto a declividade média é de 6,5%.

A partir destas considerações, a Tabela 26 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário F. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 2,27%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 1,41%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 27), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (17,58%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (13,64%).

Tabela 26 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário F

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese –Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário F (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	0,9	50,99
Baixa	145,8	30,7	Baixo	0,34	19,26
Média	187,2	39,4	Médio	0,46	26,06
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	0,02	1,13
			Alto (Setor B)	0,005	0,28
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,01	0,57
			Muito alto (Setor B)	0,03	1,70
Total	475,11	100,0	Total	1,765	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 27 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário F

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário F (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38102	37,0	Muito baixo	179	46,98
Baixa	29753	28,9	Baixo	65	17,06
Média	25934	25,2	Médio	18	4,72
Alta	5236	5,1	Alto (Setor A)	34	8,92
			Alto (Setor B)	18	4,72
Muito Alta	4014	3,9	Muito alto (Setor A)	30	7,87
			Muito alto (Setor B)	37	9,71
Total	103039	100,0	Total	381	100%

Fonte: Autor (2022)

G) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO G

Mais na parte sul do município, o cenário “G” está localizado em área com menor quantidade de habitações, contudo em constante estado de evolução por sofrerem os impactos da expansão urbana. Na Figura 51, consta o mapa com as análises da cartografia horizontal e vertical deste cenário.

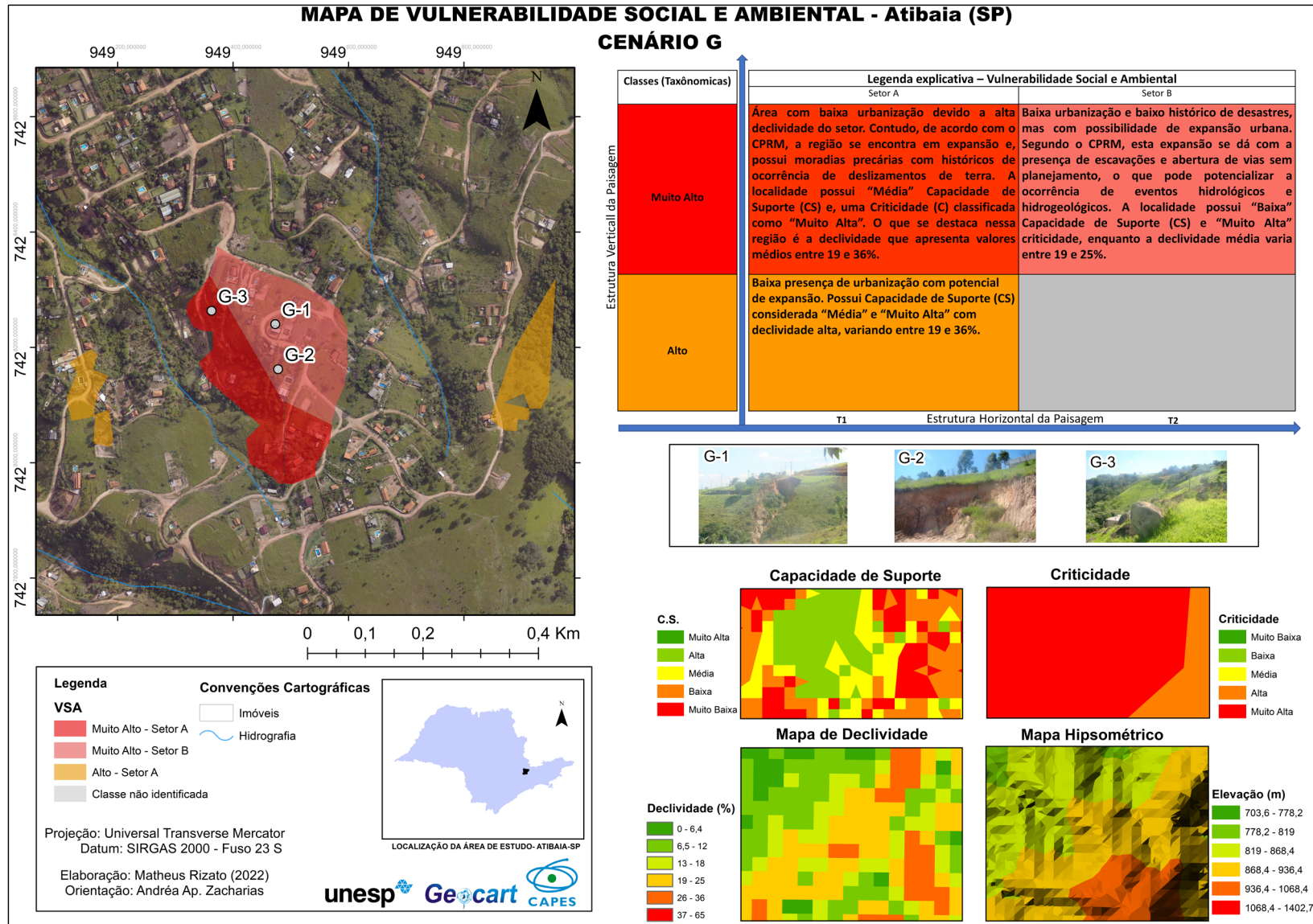


Figura 51 - Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental, com as Estruturas Verticais e Horizontais - Cenário G
Fonte: Autor (2022)

De forma geral, as áreas classificadas como “muito alta” vulnerabilidade social e ambiental ocorrem em função do adensamento urbano centralizado nessa localidade. Além disso, a área possui alta declividade com proximidade a hidrografia local, onde nota-se um forte processo erosivo com formação de voçorocas (Figura 52 - G1). O aumento de processos erosivos na área, por lixiviação, pode estimular a continuidade de ravinamentos, como também, dos voçorocamentos, em curto a médio prazo, inviabilizando novos loteamentos bem como a expansão urbana nessa região. Segundo o CPRM, o relevo é sustentado por espessamento de intemperismo em que saprólitos de gnaiss, geralmente situado próximo da superfície e são recobertos por solo coluvionar argiloso, com evidências de alta atividade (Figura 52- G2). A região já sofreu com deslizamentos sendo possível observar a presença de matacões em algumas áreas (Figura 52- G3).



Figura 52 - Registro Iconográfico - Cenário G

Para o setor A, relacionado a classe taxonômica “Muito Alta”, apesar de pouco intensa, ocorre a presença de habitações humanas devido à alta declividade da região

que apresenta valores médios entre 19 e 36%. Contudo, de acordo com o CPRM, a região se encontra em expansão e, possui moradias precárias com históricos de ocorrência de deslizamentos de terra. A localidade possui “Média” Capacidade de Suporte (CS) e, uma Criticidade (C) classificada como “Muito Alta”. Para o setor B, é registrado menor ocorrência de desastres, com também baixa densidade de imóveis, mas com possibilidade de expansão urbana. Segundo o CPRM, esta expansão se dá com a presença de escavações e abertura de vias sem planejamento, o que pode potencializar a ocorrência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos. A localidade possui “Baixa” Capacidade de Suporte (CS) e “Muito Alta” criticidade, enquanto a declividade média varia entre 19 e 25%.

Já para a classe taxonômica considerada “Alta”, apenas pode-se considerar o setor A, por ser a única área remanescente na localidade com presença de urbanização. Contudo, em torno destas áreas, apresenta potencial de expansão o que podem agravar as condições ambientais da localidade e intensificar os eventos de deslizamento, enxurradas e enchentes. Possui Capacidade de Suporte (CS) considerada “Média” e “Muito Alta” com declividade alta, variando entre 19 e 36%.

A partir destas considerações, a Tabela 28 ilustra o comparativo entre os resultados obtidos para VSA no cenário F. De acordo seus dados, o grau de suscetibilidade “muito alto” no modelo de reconhecimento correspondem a 4,8% da área analisada, enquanto para modelo detalhado o total é de 5,2%, a partir do somatório dos Setores A e B. Ao passo que no grau de suscetibilidade “alto”, os valores foram de 16% e 0,17%, respectivamente. Em relação à distribuição dos Imóveis por classes de VSA (Tabela 29), os modelos mostraram na: a) classe “muito alta”, no reconhecimento (3,9%) e no detalhamento (22,96%) e; b) classe “alta”, no reconhecimento (5,1%) e no detalhamento (5,79%).

Tabela 28 - Comparação quantitativa entre o grau de suscetibilidade dos cenários indicativos – Cenário G

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese – Figura 38)			Detalhamento da VSA – Cenário G (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	43,4	9,1	Muito baixo	0	0
Baixa	145,8	30,7	Baixo	3,81	33,25
Média	187,2	39,4	Médio	7,57	66,06
Alta	76,0	16,0	Alto (Setor A)	0,02	0,17
			Alto (Setor B)	0	0
Muito Alta	22,7	4,8	Muito alto (Setor A)	0,03	0,26
			Muito alto (Setor B)	0,03	0,26
Total	475,11	100,0	Total	11,46	100%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 29 - Distribuição dos Imóveis por Classes de Vulnerabilidade Social e Ambiental - Cenário G

Reconhecimento da VSA (Mapa Ambiental de Síntese) por imóveis – Figura 37			Detalhamento da VSA – Cenário G (Estrutura Vertical e Horizontal)		
Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	(%)	Grau e/ou Intensidade do Fenômeno	Total Imóveis	Área (%)
Muito Baixa	38.102	37,0	Muito baixo	0	0
Baixa	29.753	28,9	Baixo	99	30,18
Média	25.934	25,2	Médio	115	35,06
Alta	5.236	5,1	Alto (Setor A)	19	5,79
			Alto (Setor B)	0	0
Muito Alta	4.014	3,9	Muito alto (Setor A)	39	11,89
			Muito alto (Setor B)	56	17,07
Total	103039	100,0	Total	328	100%

Fonte: Autor (2022)

H) Cartografia de Síntese da Vulnerabilidade Social e Ambiental – CENÁRIO H

Por último, apresenta-se o cenário “H”, localizado na parte sul do município e distante do centro urbano, destaca-se uma grande área classificada como “alta” vulnerabilidade social e ambiental. Contudo, trata-se de um setor com baixa densidade populacional, caracterizado pela presença de imóveis e construções de alto padrão inseridos em luxuosos condomínios residenciais (Figura 50 - H1). Essa

classificação ocorreu por esta localidade possuir alta declividade e presença de cursos d'água. Paralelamente a isso, por estarem em uma região mais afastada do centro urbano, apresentam baixos valores de capacidade de suporte devido a baixa quantidade de equipamentos urbanos. Historicamente, não há registro de ocorrência de desastres pelo bom planejamento devido ao seu alto padrão caracterizados pelas habitações, infraestruturas, áreas verdes e de lazer.

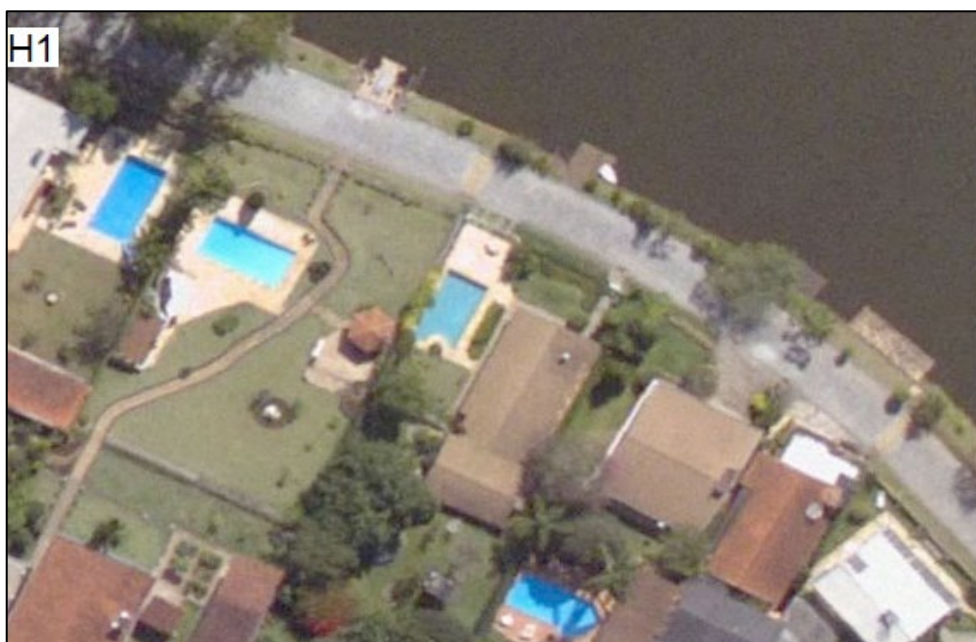


Figura 53 - Registro Iconográfico - Cenário H

Desta forma, não foi possível realizar uma análise da estrutura da paisagem vertical e horizontal desta localidade, pois o modelo classificou de forma equivocada essa localidade como áreas de “Muito Alta” e “Alta” vulnerabilidade social e ambiental. Isso ocorreu em função do modelo levar em consideração variáveis como a declividade, presença de corpos d'água, Criticidade (C), Capacidade de Suporte (CS) em consideração para a elaboração da modelagem final.

Assim, todos esses componentes citados apresentaram altos valores no cenário H, mesmo a localidade apresentando baixa ou inexistência de eventos de ordem hidrológica ou hidrogeológica. Este fato pode ser explicado, pois esta região, mais afastada do centro urbano do município, apresenta uma estrutura diferenciada com moradias de alto padrão, onde o planejamento da região foi bem executado criando ações a fim de mitigar a ocorrência de eventos de riscos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo processo metodológico percorrido e dos resultados apresentados neste trabalho, fica evidente a busca por uma proposta que fosse capaz de criar dados suficientes para identificar e mapear as áreas com maior e menor Vulnerabilidade Social e Ambiental no município de Atibaia/SP. Assim, o uso de metodologias baseadas em análise exploratória e de abordagem utilizando metodologias cartográficas multicritério e de síntese se mostraram importantes ferramentas para que este tipo de informação fosse obtida.

No caso específico das vulnerabilidades sociais e ambientais pode-se constatar que o agrupamento humano propiciado pelo crescimento da cidade em muitos casos sem o devido ordenamento e planejamento territorial são os principais fatores que ocasionam em severas mudanças na paisagem natural gerando impactos ambientais e sociais. A intensa ação antrópica no ambiente de forma não ordenada, exemplificada pelas intervenções em áreas de várzea ou em encostas de morros, são fatores impactantes para ocorrência de eventos como enchentes, alagamentos, deslizamentos e demais eventos de ordem hidrológica e hidrogeológica.

De forma geral, pode ser observado nos dados apresentados nessa pesquisa, que essa relação desordenada da sociedade com a natureza permitiu identificar diferentes graus de vulnerabilidade que a população possui em relação a ocorrência destes eventos, além de analisar a quantidade e a qualidade das estruturas urbanas presente nessas localidades que podem auxiliar no enfrentamento a essas ocorrências.

O caminho evolutivo percorrido por essa metodologia ao longo do tempo, que como já discutido, teve diversas aplicações em diferentes paisagens, comprova a sua aplicabilidade, contudo, é notório que constantes adaptações devem ser realizadas levando em consideração as inovações tecnológicas e principalmente as particularidades dos locais onde ela será realizada. No caso deste trabalho, dentre as várias adaptações apresentadas à metodologia, destaca-se a utilização de dados específicos da área estudada que foram gerados e incorporados a modelagem a fim de, expor a realidade local e a obtenção de resultados mais assertivos.

As contribuições a esta ideia metodológica, se deu principalmente através da implementação de novos dados de origem física e social do município estudado buscando decifrar as suas particularidades. Estas informações, representadas pelas

características da estrutura urbana do município, do histórico de ocorrências de desastres, da sua declividade, distância dos corpos hídricos, uso e ocupação da Terra, as áreas de preservação ambiental entre outros, puderam ser agregadas as informações obtidas pela análise exploratória e foram representadas pelos dados de criticidade e capacidade de suporte. Em seguida, todas essas informações foram interrelacionadas através de modelagens multicritério e apresentadas através da elaboração de uma cartografia de síntese que permitiu uma melhor visualização dos dados obtidos.

Sobre a cartografia de síntese, o uso desta técnica, difundida por Zacharias; Ventorini (2021), se fez necessária enaltecendo a sua capacidade em ordenar, classificar, dividir ou integrar informações em uma representação espacial. Ao final desta pesquisa, pôde-se realizar mapas em um processo de análise gráfica e visual, identificando as diferentes unidades na paisagem. A técnica de remodelagem das classes taxonômicas e a obtenção de novas subdivisões para se obter as estruturas verticais e horizontais, trouxeram mais dinamicidade a leitura das informações espaciais trazendo novos componentes a análise da paisagem, além daqueles ilustrados anteriormente pela modelagem final.

Os resultados puderam ser confrontados com as informações históricas de ocorrência de desastres e constatou-se a sua relevância quanto a realidade da área de estudo. Através da seleção dos diferentes cenários analisados no município de Atibaia-SP, foi possível observar que as áreas onde ocorrem maior incidência de eventos estão relacionadas aos locais mapeados como mais sensíveis do ponto de vista ambiental e social e onde observa-se que a intervenção antrópica ocorreu de maneira inadequada.

Ainda analisando a metodologia, que foi aplicada em todo o perímetro municipal e não apenas em locais específicos, foi possível identificar pontos onde o modelo registrou com fidelidade a realidade local, entretanto alguns equívocos também puderam ser observados. Em exemplo, pode-se citar o cenário H, que apresentou valores elevados de vulnerabilidade, entretanto, nesta localidade, não foi encontrado indícios e nem histórico de ocorrência de eventos como alagamentos e deslizamentos entre outros. Essa classificação equivocada se deu em função de especificidades da região que, dentro das variáveis consideradas para a obtenção do resultado, permitiu que o modelo classificasse essa localidade como de alta probabilidade de ocorrência

de eventos. Ocasões pontuais como essa são importantes, pois destacam que a verificação da acurácia dos resultados obtidos é fundamental tanto para a validação do modelo aplicado, quanto para melhorar a análise do cenário estudado.

Do ponto de vista técnico quanto a aplicabilidade desta metodologia, é importante destacar que para facilitar a obtenção e manipulação destes dados é imprescindível o domínio e a utilização das geotecnologias, em especial os softwares de Sistemas de Informação Geográfica. Esta ferramenta foi de fundamental importância nesse trabalho, pois permitiu a organização espacial das informações, a modelagem destes dados e a visualização dos resultados. Contudo, salienta-se que para se gerar essas informações, é imprescindível que o usuário tenha acesso a uma boa base de dados cartográficos de qualidade e de considerável precisão. No caso deste trabalho, a principal base de dados foram as fotografias aéreas de alta resolução espacial, que se mostraram fundamentais para a criação destas novas informações, além de também contribuírem para a consulta visual e verificação da acurácia dos resultados obtidos.

Para que estudos abordando esta temática sejam replicados em demais localidades, é preciso que os municípios disponham destas informações relacionadas as geotecnologias, principalmente os que já apresentem histórico de ocorrência de desastres, para que estudos de vulnerabilidades possam ser realizados visando a mitigação de danos causados por eventos hidrológicos e hidrogeológicos. Em outras palavras, é necessário que seja incentivada a obtenção, por parte das prefeituras, de uma boa base cartográfica assim como a disponibilidade de equipamentos e mão de obra especializada para a realização deste tipo de estudo.

Assim, entre os pontos positivos e negativos conclui-se que esta metodologia pode ser uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade social e ambiental em locais de ocorrência de eventos hidrológicos e hidrogeológicos. Levando em consideração a realidade de parte dos municípios brasileiros e de outras regiões do planeta, esses problemas são recorrentes e precisam ser analisados para que ações sejam tomadas para acabar ou diminuir os danos gerados por esses eventos. A aplicabilidade desta metodologia em demais regiões se torna possível, pois a inserção de dados específicos do local de estudo torna esse método mais amigável a realidade do local obtendo resultados mais assertivos e menos generalizados. Contudo, é importante destacar que esta metodologia deve sempre ser atualizada e

adaptada, sobretudo quando se trata de sua aplicação em diferentes localidades com suas particularidades.

Entende-se até, que a possibilidade de aplicação desta metodologia em diferentes locais pode ser interpretada não somente como uma análise da vulnerabilidade social e ambiental, mas também como uma análise de risco ambiental. Isso, pois esta metodologia se utilizou não somente de dados socioeconômicos da área de estudo, mas também de uma considerável quantidade de informações físicas do local. Esse volume de dados analisados em conjunto, somados a verificações em campo, podem subsidiar informações para que se tenha a possibilidade de mensurar o risco ambiental das áreas analisadas. Partindo desta premissa, essa questão deve ser considerada em futuras pesquisas, viabilizando a análise e visualização das problemáticas no ambiente urbano.

Ao fim, destaca-se que trabalhos desta natureza devam ser realizados constantemente, pois eles acabam se tornando importante ferramenta para que a situação social e ambiental das diferentes localidades seja evidenciada, e que estas informações sejam amplamente divulgadas oferecendo subsídios para que o poder público tome decisões quanto as políticas de organização urbana. Assim, é de suma importância que políticas sejam criadas a fim de impedir a expansão de ocupação humana em áreas mais sensíveis, além de organizar medidas a fim de resolver os problemas da população já residente em áreas de maior vulnerabilidade social e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Humberto Prates da Fonseca. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, p. 43-59, 2006.

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. Cartografia Geomorfológica: O uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a confecção de cartas de fragilidade. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA**, 5, 2004, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, 2004.

Amaro, A. (2005). Consciência e cultura do risco nas organizações. *Territorium*, (12), 5-9.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema de informações hidrológicas (Hidroweb). Disponível em: <Disponível em: <http://hidrosat.ana.gov.br/DocTecnica.aspx> >. Acesso em: 09 de Jan de 2021

ANUÁRIO CLIMÁTICO DO BRASIL – INPE 2018. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/anuarioClima2018_Final.pdf. Acesso em: 13 de Set de 2020

Atibaia decreta emergência e estima prejuízo de R\$ 19 milhões com chuva. G1, São Paulo, 11-03-2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2016/03/atibaia-decreta-emergencia-e-estima-prejuizo-de-r-19-milhoes-com-chuva.html>>. 09 de Jan de 2021

ATIBAIA. Lei 580 de 19 de dezembro de 2008. Institui o Código de Urbanismo e Meio ambiente da Estância de Atibaia e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/a/atibaia/lei-complementar/2008/58/580/lei-complementar-n-580-2008-institui-o-codigo-de-urbanismo-e-meio-ambiente-da-estancia-de-atibaia-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 de Jan de 2021

ATIBAIA. Lei 2293 de 08 de setembro de 1988. Cria o Parque do Itapetinga nesse Município. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/a/atibaia/lei-ordinaria/1988/230/2293/lei-ordinaria-n-2293-1988-cria-o-parque-florestal-do-itapetinga-neste-municipio-2017-03-28-versao-compiled>>. Acesso em: 09 de Jan de 2021

Atibaia registra alagamentos após chuva intensa. G1, São Paulo, 11-01-2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/01/atibaia-registra-alagamentos-apos-chuva-intensa.html>>. Acesso em: 09 de Jan de 2021.

BARBOSA, C. C. F.; CORDEIRO, J. P.; CÂMARA, G.; U. M. Integração de objetos e campos geográficos em uma álgebra de mapas. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE** 2015.

BATHRELLOS, G. D et al.. Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological

parameters. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 66, n. 2, p. 537-548, 4 ago. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1263-x>

BECK, U. (2011). *Sociedade de Risco: Rumo a uma outra modernidade (2a)*. São Paulo: Editora 34

Beltrame, A. M. K; Jardini, M. G. M.; Jacobsen, R. M.; Quintanilha, J. A. Análise da vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v.13, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. Disponível em: <marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.11.46/doc/5579-5586.pdf>. Acesso em: 31 out. 2016.

BORTOLETTO, K. C.; FREITAS, MIC. Análise fatorial na seleção de indicadores para análise de vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso para dois municípios do litoral paulista. **Anais: Encontro Internacional de Vulnerabilidades e Riscos Socioambientais**, v. 1, p. 483-494.

BORTOLETTO, K. C. **Estudo das vulnerabilidades social e ambiental em áreas de riscos de desastres naturais no município de Caraguatatuba, SP**. 2016. 217 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Universidade Estadual Paulista/Unesp- Câmpus de Rio Claro/SP. 2016.

BRASIL; BRASIL; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012**. 2014.

BRASIL (2012). Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 22 jan 2020.

BROWN, T. A. **Confirmatory factor analysis for applied research**. Guilford publications, 2015.

CÂMARA, G., & CARVALHO, M. S. (2004). Análise espacial de eventos. In S. Druck, M. S. Carvalho, G. Câmara, G. Monteiro (Eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. (pp. 55-75). Planaltina: Embrapa Cerrado.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA Cerrados, 2 ed. 1998, 434p.

CÂMARA, G; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA-FILHO, R.; BÖNISCH, S. **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Org.) - Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE. São José dos Campos/SP. 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 22 jan 2022.

CAMPOS R.S. de, Carneiro C.D.R. 2015. Geologia da região de Atibaia e possíveis causas das inundações de 2009 e 2010. **Terræ**, Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/terrae/V10/PDFv10/TD-10-4-Rafaela.pdf>>. Acesso em: 22 jan 2020.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS - CIIAGRO. Dados climáticos da estação agrometeorológica de Atibaia - SP. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline>>. Acesso em: 09 jan. 2021.

CEPED UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais. volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2016. Disponível em: <<http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil%20Rev.pdf>> Acesso em 04 set. 2020.

CHOWDARY, V.M et al. Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. **Water Resour Manage** 27, 3555–3571 2013. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0364-6>

CLAVAL, P. e WIEBER, J-C. La cartographie thématique comme méthode de recherche. Paris: Les Belles Lettres, 1969.

COELHO, A. L. N. Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. **Anais XIII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil**, p. 21-26, 2007.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Inundações e Movimentos de Massa Atibaia – São Paulo. Ministerio de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e transporte Mineral. Brasília, 2012.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de Geológico do Estado de São Paulo. Ministerio de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e transporte Mineral. Brasília, 2006.

CUNHA, L.; RAMOS, A. M. (2013). Riscos naturais em Portugal: alguns problemas, perspectivas e tendências no estudo dos riscos geomorfológicos. LOMBARDO, MA; FREITAS, MIC **Riscos e vulnerabilidades: teoria e prática no context luso-brasileiro**. São Paulo: Cultura Acadêmica.

CUNHA, R. C. Análise da Influência das Variáveis Ambientais utilizando Inferência Fuzzy e Zoneamento das Vulnerabilidades. estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos –SP. São Paulo. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

CUNHA, L.; DIMUCCIO, L. (2001). Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição. *Territorium - Coimbra*, 9, 37–51.

CUNHA, L. Vulnerabilidade e Riscos Naturais: Exemplos em Portugal. In: **Vulnerabilidade e Riscos: reflexões e aplicações na análise do território** - Freitas,

M.I.C. Lombardo, M.A. Zacharias, A.A. (Org). – Rio Claro (SP): UNESP – IGCE-CEAPLA, 2015.

CUNHA, L.; MENDES, J; M.; TAVARES, A.; FREIRIA, S. Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos. O desafio das escalas. In: Santos, N; Cunha, L. (org.) **Trunfos de uma Geografia Activa**. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra. p.627-637. 2009.

CUNHA, L.; LEAL, C. (2012). Natureza e sociedade no estudo dos riscos naturais. Exemplos de aplicação ao ordenamento do território no município de Torres Novas (Portugal). **As novas geografias dos países de língua portuguesa: paisagens, territórios e políticas no Brasil e em Portugal (II)**. São Paulo: **Geografia em Movimento**, p. 47-66, 2012.

CUTTER, S. L., BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. n. **Social Science Quarterly**, 84(2), p. 242–261, 2003.

CUTTER, S.L. “Vulnerability to environmental hazards”. **Progress in human Geography**, v.20,n.4, p.529-539, 1996.

CUTTER, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. In: **Hazards vulnerability and environmental justice**. Routledge, 2012. p. 143-160.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 59–69, 1 jun. 2011.

MENDES, J. M., TAVARES, A. O., CUNHA, L., & Freiria, S. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 95-128, 2011.

Mendes, J. M. et al. Riscos naturais e tecnológicos, vulnerabilidade social e os territórios. In: SOARES, C. G; TEIXEIRA, J. A. P Teixeira; ANTÃO, P. (Org.) - **Risco, Vulnerabilidade Social**. Edições Salamandra, Lisboa. p. 75-94, 2011.

DAGNINO, R; CARPI JÚNIOR S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro - vol.2, n.2, p. 50- 87, jul./dez./2007

DAMASIO, B.F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Avaliação Psicológica**, v.11, n.2, p. 213-228, 2012.

DATAGEO. Sistema ambiental paulista. Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo. IDEA-SP. Base Territorial Ambiental Unificada. 2016. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em 09 jan. 2021

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação. In: CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da informação**. São José dos Campos: **INPE**, 2001. p. 41- 76.

Defesa Civil decreta estado de atenção por causa da chuva em Atibaia, SP. G1, São Paulo, 06-06-2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba->

regiao/noticia/2016/06/defesa-civil-decreta-estado-de-atencao-por-causa-da-chuva-em-atibaia-sp.html>. Acesso em: Jan/2021

Deslizamento de terra mata dois e fere outros três em Atibaia. Folha/Uol, São Paulo, 10-12-2010. Disponível em: < <https://extra.globo.com/noticias/brasil/deslizamento-de-terra-mata-dois-fere-outras-tres-em-atibaia-224768.html>>. Acesso em: Jan/2021

DUARTE, P. A. Conceituação de cartografia temática. **Geosul**, v. 6, n. 11, p. 133-138, 1991.

FIELD, A. Descobrimo a estatística usando o SPSS. 2 Ed. Artmed. Porto Alegre: **Bookman**. 2009.

FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartografia da Vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.5, n.1, p. 15-31, jan/jun. 2013

FREITAS, C. M.; Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v.17, n.6. p. 1577 - 1586, jan./jun. 2012.

Freitas, M. I. C.; Ramos, A., Cunha, L. (2013). Vulnerabilidade socioambiental de concelhos da Região Centro de Portugal por meio de sistema de informação geográfica. **Cadernos de Geografia**, n. 32, p. 313-322, 2013.

FREITAS, M. I. C.; ROSSETTI, L. A. F. G.; OLIVEIRA, R. N. Risk mapping in urban areas: methodological essay for sample area of Santos, São Paulo, Brazil. 2015. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 67, p. 1-16, 2015. Disponível em:<http://www.rbc.lsie.unb.br/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=1223&path%5B%5D=843>. Acesso em 04 set. 2020.

GEORGE, P. (1970) Les méthodes de la Géographie. Paris: PUF, Coll. Que sais-je?

GIGOVIĆ, L. et al. Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. **Water**, v. 9, n. 6, p. 360, 2017.

GUO, E. et al. Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China. **Natural hazards**, v. 74, n. 2, p. 947-965, 2014.

GIRARDI, G. Leitura e mitos em mapas: um caminho para repensar as relações entre Geografia e Cartografia. **Geografares**, v.1, 1, junho, 2000.

Gonçalves, G. G. G., Daniel, O., Comunello, E., Vitorino, A. C. T. e Arai, F. C. (2011): "Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas, **Revista Floresta**", v. 41, n. 4, p. 797–808.

Gonçalves, C. (2012). Desastres Naturais - Algumas considerações: Vulnerabilidade, Risco e Resiliência. **Revista Territorium**. n. 19, p. 5-14, 2012

GUERRA, F. C. **Mapeamento das áreas de vulnerabilidades socioambientais aos riscos hidrológicos: inundações em Bragança Paulista/SP**. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Universidade Estadual Paulista/Unesp- Câmpus de Rio Claro/SP. Rio Claro. 2020.

HAIR, J. F. *Multivariate data analysis: A global perspective*. 6th. ed. Upper Saddle River, **New Jersey: Pearson Prentice Hall**, 2006.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Multivariate data analysis*. 4 ed. **New Jersey: Prentice Hall**, 1998. 730p.

HOANG, V. D.; TRAN, H. T; NGUYEN, T. T. A GIS-based Spatial Multi-criteria Approach for Flash Flood Risk Assessment in the Ngan Sau-Ngan Pho Mountainous River Basin, North Central of Vietnam. **Environment And Natural Resources Journal**, Thailand., v18. , n.2, p.110-123, 2020. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ennrj/index>. Acesso em: 15 set. 2020.

Homem é resgatado por policiais após ser soterrado em Atibaia, SP. G1, São Paulo, 03-01-2020. Disponível em: < <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2020/01/03/homem-e-resgatado-por-policiais-apos-ser-soterrado-por-lama.ghtml>>. Acesso em: Jan/2021

HONGYU, K. Análise Fatorial Exploratória: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v.4, n.7, p.88-103, 2018.

IBGE. Caracterização geral do município de Atibaia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/atibaia/panorama>>. Acesso em: Set 2017

IBGE. Censo 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=210uf=35>. Acesso em: Set 2020

IBGE. (2010). Censo Demográfico 2010: Divulgação da Base de Faces de Logradouros do CD 2010. Brasília: IBGE. IBGE. (2020).

IBGE: Resultados do censo 2010. Obtido 20 de agosto de 2019. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html> Acesso em: Jan/2021

IBGE. (2012). Censo Demográfico 2010: Características urbanísticas do entorno dos domicílios. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE.

ICMBIO. Reserva Particular do Patrimônio Natural. < <https://www.icmbio.gov.br/portal/criesuareserva/perguntas-e-respostas-sobre-rppn>> Acesso em: Jan/2021

LI, Z.; FAN, Z.; SHEN, S.. Urban green space suitability evaluation based on the AHP-CV combined weight method: A case study of Fuping County, China. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2656, 2018.

LIEBER, R.R.; ROMANO-LIEBER, N.S. O conceito de risco: Janus

reinventado. **Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós**, 2002.

Lima, E. R. V., Pinto, S. D. A. F., & Landim, P. M. B. (2014). Análise multivariada e cartografia de síntese no estudo da erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, 40-93,2014.

MARICATO, E. **Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência**. São Paulo: Hucitec, 1996.

MARTINEZ, L.; FERREIRA, A. **Análise de dados com SPSS: primeiros passos**. Lisboa: Escolar editora, 2010.

MATERANO, L. S.; BRITO, J. L. S. Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do Rio Castán, estado Trujillo - Venezuela. **Caminhos de Geografia**, [s.l.], v. 21, n. 73, p. 86-97, 6 mar. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217347216>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/47216>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. Análise Fatorial. Coleção Metodologias de Pesquisa. Brasília: Enap, 2019.

MENDES, J. M. (2015). **Sociologia do Risco: Uma breve introdução e algumas lições**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra. <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1066-5>

MENDES, J. M. et al. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 95-128, 2011.

MONTEIRO, S.; FREIRE, G. S. S.; CUNHA, L. PERCEÇÃO DOS RISCOS DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA CIDADE DA PRAIA (CABO VERDE). **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2016. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/364>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE.

MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas Como complementação às análises multicritérios - "sensitivity analysis to suitability evaluation". **Revista Brasileira de Cartografia: Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 68, p.665-684, abr. 2016. Disponível em: . Acesso em: 19 jan. 2017

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda., 1992. 307 p.

OGATO, G. S. et al. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West

shoa zone, oromia regional State, **Ethiopia. Journal Of Hydrology: Regional Studies**, v. 27, p. 1-18, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: Embrapa Solos: IAC, 1999. Mapa

PANCHER, A. M.; BANCO, T. L. O potencial da classificação orientada a objetos e da mineração de dados para mapeamento da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: expansão, métodos, tecnologias e impactos**. Tupã: Anap, 2021. p. 41-66. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/biblioteca/livros/item/cod/228> Acesso em 08 de Abr. 2021.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. Análise de dados para ciências sociais: A Complementaridade do SPSS. 6a ed. Lisboa: Edições Sílabo Lda., 2014.

Plano Diretor da Estância de Atibaia, nº. 24, de 11 de setembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor da Estância de Atibaia para o período 2007/2016 e dá outras providências. Lex: Legislação Municipal.

QUEIROZ FILHO, A.P.; MARTINELLI, M. Cartografia de análise e de síntese na Geografia. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 87, p. 7-43, 2007.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M.. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 19 maio 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2015.1045043?needAccess=true>. Acesso em: 22 abr. 2020.

RAISZ, E. Cartografia General. Ediciones Omega S/A. Barcelona, 1953.

REANI, T. R.; SORIANO, E.; LONDE, L. R.; TOMÁS, R. L.; VIANNA, M. L. N. G.; SANTOS, L. B. L. Interfaces Legais entre Planejamento Urbano e Redução de Riscos e Desastres. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 7, p. 116–133. 2020.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Lei nº 12.608, de 13 de setembro de 2017. disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm Acesso em: 10 abril 2021.

RIBEIRO, M. C. de C. R.; ALVES, A. da S.. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 270-281, 3 nov. 2016. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>. Disponível em:

<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/988/494>. Acesso em: 27 abr. 2020.

RIMBA, A et. al.. Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. **Urban Science**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 7, 28 jan. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/urbansci1010007>. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/313109466_Physical_Flood_Vulnerability_Mapping_Applying_Geospatial_Techniques_in_Okazaki_City_Aichi_Prefecture_Japan. Acesso em: 13 mai. 2020.

RIZATO, M.; ZUCHERATO, B.; ZACHARIAS, A. A. **A Análise Fatorial Exploratória (AFE) e a Álgebra de Mapa como metodologias na modelagem de padrões espaciais: análises a partir da vulnerabilidade social e ambiental em paisagens com riscos hidrológicos e hidrogeológicos**. In: Métodos e Técnicas no Estudo da Dinâmica da Paisagem Física. OLIVEIRA-COSTA, J. L. P.; ZACHARIAS, A. A.; PANCHER, A. M (Orgs.). 1 ed. Málaga (Espanha): EUMED.NET Editora, 2022, v.1, p. 247-278.

ROMAGNOLI, R. C. A cartografia e a relação pesquisa e vida. **Psicologia & Sociedade**, v. 21, n 2, p166-73, 2009.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo escala 1:500.000**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia - FFLCH – USP/IPT/FAPESP: vols. I e II, São Paulo/SP. 1997.

SAATY, T. L.. **Analytic Hierarchy Process. Encyclopedia Of Biostatistics**, [s.l.], p. 1-9, 15 jul. 2005. John Wiley & Sons, Ltd. <http://dx.doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>. em: <http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf>. [Acesso em: 02 abr. 2020].

SAATY, T. L.. The Analytic Network Process. **Decision Making With The Analytic Network Process**, [s.l.], p. 1-26, 2006. Springer US.

SAATY, T. L. **Analytic Hierarchy Process. Encyclopedia Of Biostatistics**, [s.l.], p. 1-9, 15 jul. 2005. John Wiley & Sons, Ltd. <http://dx.doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. Análise Multicritério: Modelos De Interesse Ambiental E De Áreas Propícias À Expansão Urbana Na Bacia Do Córrego Do Lenheiro. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 64, p. 1-18, dez. 2017b. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40912/21635>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei – MG. **Revista Percursos**, [s.l.], v. 18, n. 36, p. 95-124, 8 jan. 2017a. Universidade do

Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/1984724618362017095>. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/percursos/article/view/984724618362017095>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. Mapeamento de áreas suscetíveis aos desastres humanos de natureza na bacia do Córrego do Lenheiro, Minas Gerais, Brasil. **Revista Venezuelana de Geografia**, Mérida, v. 59, n. 1, p. 162-181, jun. 2018. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/44700>. Acesso em: 16 mai. 2020.

Santos, T. G.; Ventorini, S. E. Análise Multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do Córrego do Lenheiro. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 64, p. 1-18, dez. 2017. Disponível em: . Acesso em: 16 mai. 2020. Santos,

T. G.; Ventorini, S. E. Vulnerabilidade Social em Área Urbana Suscetível às Inundações e Alagamentos na Bacia do Córrego do Lenheiro em São João Del-Rei-MG. **Revista Geoaraguaia**, v. 10, n. 2, p. 232–251, 2020. Disponível em: . Acesso em: 22 ago. 2021.

SANTOS, C. Cartografia Ambiental e Planejamento Territorial Urbano. Patrimônio: **Lazer & Turismo** (UNISANTOS) , v. 6, p. 40-74, 2009.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do Córrego do Lenheiro. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 64, p. 1-18, dez. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40912/21635>. (Acesso em: 14 abr. 2021).

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

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 121-131, 2012.

SCHMIDTLEIN, M. C. et al. A sensitivity analysis of the social vulnerability index. **Risk Analysis**, v. 28, n. 4, p. 1099–1114, ago. 2008. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x>>. Acesso em: 10 abril 2021.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. As unidades de conservação são estratégicas para a proteção dos recursos hídricos que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2020/09/consema-aprova-planos-de-manejos-das-apas-sistema-cantareira-e-represa-bairro-usina/>>. Acesso em: Jan 2021

SIFESP. Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em

<http://www2.ambiente.sp.gov.br/sifesp/inventario-florestal/#> . Acesso em: 13 abr. 2020.

SIGRH – Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Banco de Dados Pluviométricos de Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: Set 2017

SILVA, W. S. **Identificação de unidades ambientais no município de Atibaia** – SP. 2001. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física - Departamento de Geografia – FFLCH - USP/São Paulo/SP. 2001.

SILVA W.S. da. **Vulnerabilidade Socioespacial relacionada a Precipitações e Ventos em Atibaia -SP**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geociências – IG – UNICAMP/Campinas/SP. 2011.

SILVA C.F.S. 1949. Atibaia (Aspectos Físicos e Humanos). Rio de Janeiro: IBGE, Rev. Bras. Geografia

S2iD (2015) Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2iD. Ministério da Integração – MI. Disponível em: <http://S2iD.mi.gov.br/>. Acesso em 04 set. 2020.

TWIGG, JOHN. Características de uma comunidade resiliente aos desastres. Tradução: **Sarah Marcela Chinchilla Cartagena**. 2 ed. Londres. Latitude. 2009.

UNISDR. Terminology on Disasters Risk Reduction, 2017. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>> (acesso em: 04 set. 2020).

VALENCIO, N.F.L.S. et al. A produção social do desastre: dimensões territoriais e político-institucionais da vulnerabilidade das cidades brasileiras frente às chuvas. **Revista Teoria e Pesquisa**, São Carlos, 2004a, 67-115.

VARGAS, R.V. **Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio**. PMI Global Congress – América do Norte. 2010. Washington – EUA. Disponível em <https://ricardo-vargas.com/pt/downloads/download-file/6103/6816>. Acesso em: 27 abr. 2021

VEYRET, Y. (2015). Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente (2a). São Paulo: Editora Contexto.

VIDAL DF. Análise fatorial em administração: uma aplicação prática com o software SPSS. Rev Eletr Estácio Papyrus. 2016 Disponível em: <http://periodicos.estacio.br/index.php/papirusantacatarina/article/view/2348/1208>.

WANG, Y. et al. A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. **Water Resour Manage** 25, 3465–3484 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>

WOLFF, C. S.. **O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, PUC-RJ, Rio

de Janeiro, 2008. Cap. 3. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_4.PDF. Acesso em: 27 abr. 2020.

WISNER, B. et al. **At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. 2nd. ed. New York: Routledge, 2004.

ZACHARIAS, A. A.; VENTORINI, S. E. A Cartografia de síntese, o ambiente e a paisagem: caminhos, desafios, perspectivas e proposta metodológica. **PUBLICAÇÕES AVULSAS: Geografia**, UFPI, Teresina/PI, vol. 22, n. 3, p. 120-157. 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/geografia/article/view/11275/7798>. Acesso em 08 de Abr. 2021.

ZACHARIAS, A., TEIXEIRA, A. L., VENTORINI, S. E., FERREIRA, A. B. R. ., & SANTOS, T. G. (2021). A cartografia de síntese e as estruturas verticais e horizontais da paisagem em ambientes urbanos suscetíveis à inundação. **Revista Do Departamento De Geografia**, 41(1),e177185.<https://doi.org/10.11606/eISSN.2236.2878.rdg.2021.177185>

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. Editora Unesp. São Paulo. 2010.

ZACHARIAS, A. A. **Políticas de sustentabilidade municipal e a canalização da drenagem urbana: gestão ambiental que potencializa áreas vulneráveis aos riscos ambientais?** In: FREITAS, M. I.; LOMBARDO, M. A.; ZACHARIAS, A. A. (Org.). **Vulnerabilidades riscos: reflexões e aplicações na análise do território**. Rio Claro: IGCE-CEAPLA- UNESP/Rio Claro, 2015. p. 95-114.

ZACHARIAS, A. A. **Zoneamento ambiental e a representação cartográfica das unidades de Paisagens: propostas e subsídios para o Planejamento Ambiental do município de Ourinhos – SP**. 2006. 200f. Tese (Doutorado em Geografia) – IGCE – UNESP/Rio Claro. 2006.

ZUCHERATO, B. **Cartografia da Vulnerabilidade Socioambiental no Brasil e Portugal: estudo comparativo entre Campos do Jordão e a Guarda**. 2018. 369 f. Tese (doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Universidade Estadual Paulista/Unesp- Câmpus de Rio Claro/SP. 2018.

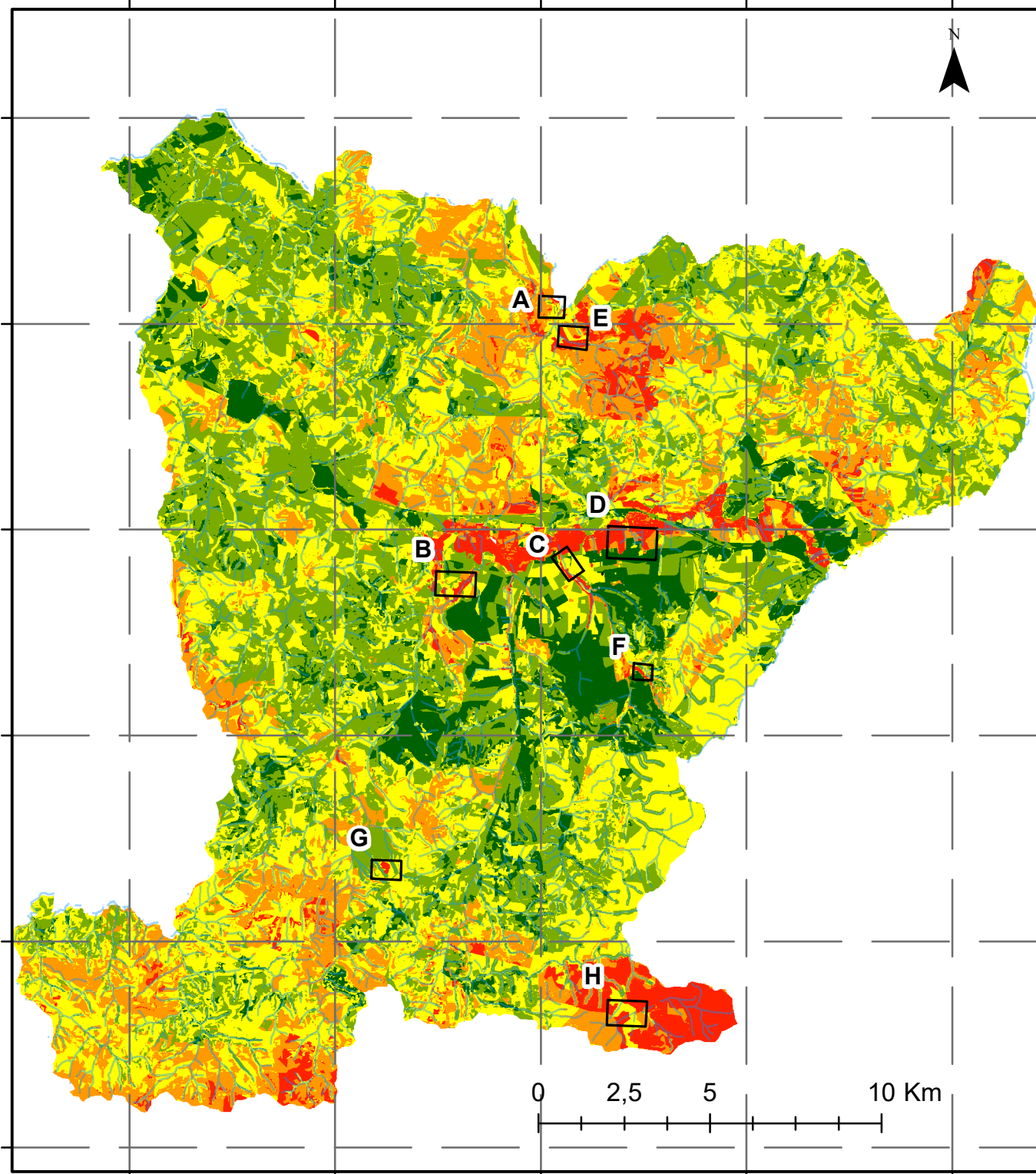
ZUCHERATO, B. **A utilização da técnica da Análise Fatorial Exploratória (AFE) para o mapeamento de áreas de vulnerabilidade socioambiental**. In: Guimarães, A. R.; Fonseca, R. G.; Fernandes, S. (org.) – **Perspectivas Geográficas**. Ituiutaba: Barlavento, 2021. p. 60-78. Disponível em: <https://asebabaolorigbin.files.wordpress.com/2021/02/perspectivasgeograficas.pdf>. Acesso em 08 de Abr. 2021.

ANEXOS

VULNERABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL - Atibaia (SP)

942^{000,000000} 948^{000,000000} 954^{000,000000} 960^{000,000000} 966^{000,000000}

745^{000,000000}
744^{000,000000}
743^{000,000000}
743^{000,000000}
742^{000,000000}
742^{000,000000}



Legenda

Vulnerabilidade Social e Ambiental

- Muito Baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

Convenções Cartográficas

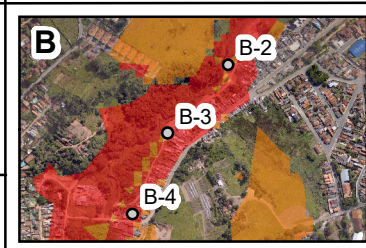
~ Hidrografia



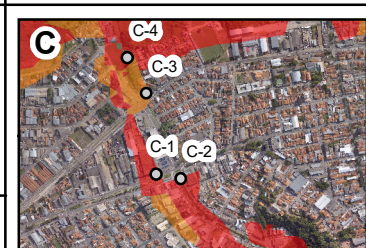
Projeção: Universal Transverse Mercator
Datum: SIRGAS 2000 - Fuso 23 S
Elaboração: Matheus Rizato (2022)
Orientação: Andréa Ap. Zacharias



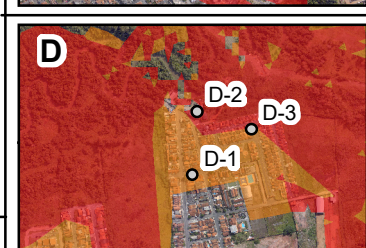
Localizada no setor norte (bairro de nomina do Tanque) é uma área distante da área central do município. Nesta região a Vulnerabilidade Social e Ambiental (VSA) é predominantemente alta e muito alta, com ocorrências de alagamentos e inundações recorrentes principalmente em residências localizadas nas ruas José Pires de Oliveira e Nelo Bacc. Esses eventos ocorrem em função das residências estarem nas proximidades da confluência do Ribeirão das Pedras (figura A-1). Segundo o Plano de Contingência do município de Atibaia os fatores contribuintes são: topografia irregular, baixa percepção de risco da comunidade, baixa permeabilidade do solo e sistema de drenagem ineficiente. Entre os componentes críticos, verifica-se que o bairro está localizado em uma área de baixada (planície) com ocupações urbanas em área de Área de Proteção Permanente -APP (Figura A-2).



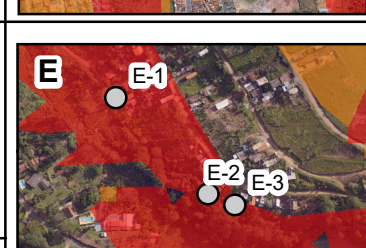
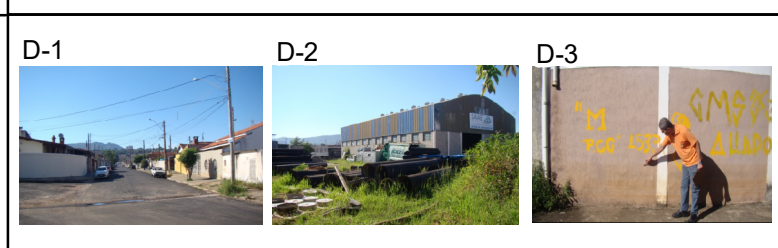
Predomínio de áreas consideradas de "muito alta" VSA em uma entre a avenida Jerônimo de Camargo e o córrego denominado Folha Larga. Esta área está localizada no bairro Caetuba, na parte central do município, observa-se uma concentração de imóveis com forma irregular de ocupação que apresenta histórico de alagamentos e inundações (Figuras B-2 e B-3). Dentre os principais fatores destes eventos destaca-se a ocupação urbana em áreas de várzea, baixa capacidade de suporte, alta criticidade, alta densidade populacional e ineficiência no sistema de drenagem (Figura B-4). Também, Dentre os impactos causados pela forma irregular de ocupação nota-se: concentrações de depósito de material úrbico (restos de construção civil), acúmulo de lixo e leve assoreamento de corpos d'água, além da ausência de espaços públicos para implantação de equipamentos de saúde, educação, lazer e segurança.



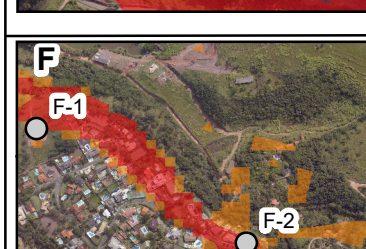
Parte central do município, encontra-se o córrego Itapetinga nas proximidades da avenida Alfredo André onde é registrado um grande fluxo de automóveis e presença de imóveis (Figuras C-1 e C-2). Em períodos de chuvas intensas registra-se alagamentos e inundações que causam danos a população (perdas de patrimônios) e, ao entorno (Figura C-3). Entre os fatores contribuintes para esses eventos destaca-se: alta concentração de edificações, topografia irregular composta por drenagem ineficiente e, o grande volume de sedimentos e lixos depositados no rio, acentuando o seu assoreamento (Figura C-4). Paralelamente, os problemas da região são intensificados com a dinâmica dos fluxos de energia, matéria e informação (EMI) da bacia e, assim receber consideráveis quantidades de águas pluviais de outras áreas de alta densidade ocupacional, por se caracterizar como uma área transmissora, impermeabilizada pelo avanço urbano, o que torna seu escoamento lento e, assim, potencializar áreas com concentração hídrica.



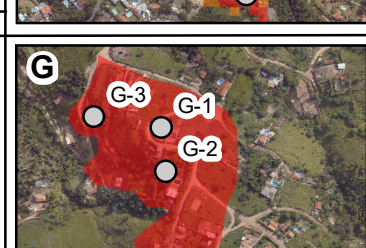
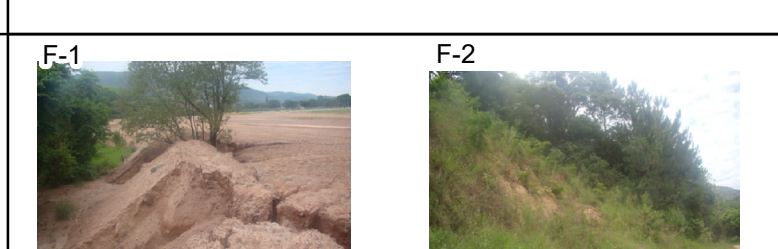
Proximidades do bairro Jardim Terceiro Centenário, especificamente entre a rua da Imprensa e o Rio Atibaia. Os principais eventos registrados são os alagamentos e as inundações tendo com os principais fatores, segundo o plano de contingência do município, as ocupações urbanas em área de várzea inundável (Figura D-1), onde tem-se a presença de edifícios públicos (galpão e o pátio do Setor de Suprimento da SAA), tornando-se um local com histórico de alagamento (Figura D-2). Por outro lado, a ineficiência do sistema de drenagem, associada à abertura das comportas das represas Atibaína e Cachoeira localizadas à montante do local, mais o assoreamento do Rio Atibaia, chegaram a provocar inundações (em anos anteriores), atingindo diversos imóveis na localidade (Figura D-3). Dentre os componentes críticos destaca-se a ocupação em área de extravasamento natural do rio e falta de manutenção de sua calha.



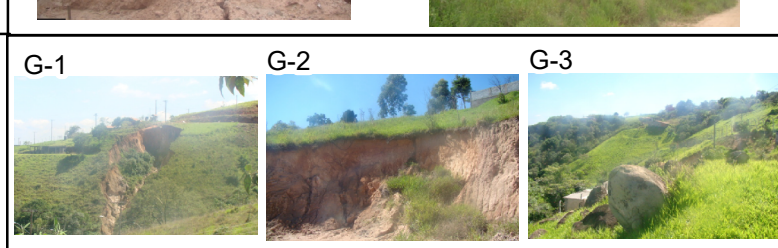
Localizada na área norte do município e é caracterizada por uma declividade muito acentuada no bairro denominado Paraíso do Tanque, onde predominam áreas de alta e muito alta VSA (Figuras E-1 e E-2). Assim, se caracteriza como uma área com probabilidade de ocorrência de desastres. [...] Tem, ainda, uma função de transmissão concentrada que garante o fluxo para as partes inferiores (áreas restritas) e médias da bacia. Geralmente são paisagens dinâmicas, em constante estado de evolução que sofrem impactos com o avanço urbano, novos empreendimentos e loteamentos, necessitando de cuidados em termos de resiliência urbana" (Zacharias, et. al., 2021). Registra-se a ocorrência de erosão e escorregamento, onde de acordo com a CPRM ocorrem devido aos fatores do relevo, da geologia, da baixa percepção de risco da comunidade, das habitações precárias e da falta de sistema de drenagem das águas pluviais (Figura E-3). Além disso, a localidade possui imóveis precários sem acompanhamento técnico.



No cenário "F" observa-se a predominância de áreas com "alta e "muito alta" vulnerabilidade social e ambiental, principalmente nas localidades próximas a drenagem presente, sendo o maior destaque para o córrego do ribeirão do Itapetinga. Por esse motivo, essas localidades apresentam histórico de ocorrência de inundações e enxurradas, potencializadas pela expansão da urbanização em áreas de várzea, onde observa-se pouca organização espacial e presença de focos erosivos (figura F1). Segundo o CPRM, há registros de ocorrência de um grande volume de água pluvial que intensifica sequências de deslizamentos (Figura F2) que provocam o barramento do ribeirão.



O cenário "G" está localizado em área com urbanização menos intensa, contudo em constante estado de evolução por sofrerem os impactos com a expansão urbana. Assim, classifica-se com como muito alta VSA em função do adensamento com o sítio urbano. Além, de apresentar alta criticidade e alta capacidade de suporte, também se encontra em área de alta declividade com proximidade a hidrografia local, onde nota-se um forte processo erosivo com formação de voçorocas (Figura G-1). O aumento de processos erosivos na área, por lixiviação, pode estimular a continuidade de ravinações, como também, dos voçorocamentos, em curto a médio prazo, inviabilizando novos loteamentos bem como a expansão urbana nessa região. Segundo o CPRM, o relevo é sustentado por espessamento de intemperismo em que saprólitos de gnaisses, geralmente situado próximo da superfície e são recobertos por solo coluvionar argiloso, com evidências de alta atividade (Figura G-2). A região já sofreu com deslizamentos sendo possível observar a presença de matacões em algumas áreas (Figura G-3).



No cenário "H", localizado na parte sul do município e distante do centro urbano, destaca-se uma grande área classificada como alta VSA. Contudo, trata-se de um setor com baixa densidade populacional, caracterizado pela presença de imóveis e construções de alto padrão inseridos em luxuosos condomínios residenciais (Figura H1). Essa classificação ocorreu por esta localidade possuir alta declividade e presença de cursos d'água. Paralelamente a isso, por estarem em uma região mais afastada do centro urbano, apresentam baixos valores de capacidade de suporte devido a baixa quantidade de equipamentos urbanos. Historicamente, não há registro de ocorrência de desastres pelo bom planejamento devido ao seu alto padrão caracterizados pelas habitações, infraestruturas, áreas verdes e de lazer.

