

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE

**Avaliação das Condições Socioambientais da Bacia do
Rio Corumbataí (SP) pela Integração de SIG e AHP:
Diretrizes para o Planejamento e Gestão Territorial**

ANDRÉ CORREA DE TOLEDO

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Rio Claro (SP)
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro

ANDRÉ CORREA DE TOLEDO

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS DA BACIA DO
RIO CORUMBATAÍ (SP) PELA INTEGRAÇÃO DE SIG E AHP:
DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro - SP

2024

T649a

Toledo, André Correa de

Avaliação das condições socioambientais da bacia do rio Corumbataí (SP) pela integração de SIG e AHP: diretrizes para o planejamento e gestão territorial. / André Correa de Toledo. -- Rio Claro, 2024
123 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

1. Geoprocessamento. 2. Análise Multicritério. 3. Desenvolvimento Sustentável. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

A presente pesquisa contribui com a capacidade planejamento e gestão territorial da bacia do rio Corumbataí, por meio da geração de representações espaciais de suas condições sociais e ambientais, que possibilitam a elaboração de diagnósticos entre a situação real e o futuro almejado, visando embasar a formulação de políticas públicas que aspirem ao desenvolvimento sustentável regional.

Potential impact of this research

This research contributes to the planning and territorial management capacity of the Corumbataí River basin by generating spatial representations of its social and environmental conditions. These representations enable the development of diagnoses between the current situation and the desired future, aiming to support the formulation of public policies that aspire to regional sustainable development.

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

ANDRE CORREA DE TOLEDO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS DA
BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP) PELA INTEGRAÇÃO DE
SIG E AHP: DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E
GESTÃO TERRITORIAL.

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. MARCELO LOUREIRO GARCIA
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Dr. JANDIR PEREIRA BLASIUS
Prefeitura Municipal de Leme/Leme (SP)

Profa. Dra. CLAUCIANA SCHMIDT BUENO DE MORAES
IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 26 de abril de 2024

Aos meus pais (Eliza e Carmo) e avós (Yolanda e Antônio; Helena e Belarmino), que sempre valorizaram a educação e seu poder de transformar vidas, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia, pela oportunidade de retornar à universidade e desenvolver este trabalho.

À minha esposa, Tathiane, por todo seu apoio e amor, ao longo dessa jornada.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Eliza e Carmo, e ao meu irmão, Rafael, por todo o carinho e suporte em toda a minha vida.

*“O mundo é formado não apenas pelo que já existe,
mas pelo que pode efetivamente existir.”*

- Milton Santos

RESUMO

A população da Bacia do Rio Corumbataí (BRC) enfrenta desafios que combinam questões socioeconômicas com situações de risco e degradação ambiental. Tais problemas estão interconectados e prejudicam a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável da região. Este trabalho teve o objetivo de avaliar as condições sociais e ambientais da BRC, e contribuir com a capacidade de planejamento e gestão territorial regional. A abordagem metodológica integrou Sistema de Informações Geográficas (SIG) e “Analytic Hierarchy Process” (AHP). Foram empregadas técnicas de sobreposição de mapas, comparação pareada, e ponderação multicritério, que incluem: pedologia, declividade, o uso e ocupação do solo, abastecimento de água, destinação de esgoto, coleta de resíduos sólidos urbanos, energia elétrica, condição de moradia, renda familiar, pavimentação das vias, iluminação pública, esgoto a céu aberto e arborização. A partir dos mapas iniciais e da ponderação via AHP, foram gerados seis mapas temáticos da área de estudo: susceptibilidade à erosão na bacia, potencial de impacto ambiental das atividades socioeconômicas, qualidade de vida rural, qualidade de vida urbana, fornecimento de serviços básicos urbanos, e qualidade do entorno urbano. O mapeamento demonstrou que há uma tendência de melhora na qualidade de vida das zonas urbanas em relação às zonas rurais, e das áreas centrais das cidades em detrimento de suas periferias. Por outro lado, apesar do espaço para melhorias, os serviços públicos essenciais se fazem presentes em quase todo o território. Os mapas gerados identificam as áreas de maior atenção para a gestão.

Palavras-chave: Mapeamento. Análise Multicritério. Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

The population of the Corumbataí River Basin (CRB) faces challenges that combine socioeconomic issues with situations of risk and environmental degradation. These problems are interconnected and harm the quality of life and sustainable development of the region. This study aimed to assess the social and environmental conditions of the CRB and contribute to the capacity for territorial planning and management. The methodological approach integrated Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP). Techniques employed included map overlay, paired comparison, and multicriteria weighting, incorporating aspects such as soil, slope, land use and occupation, water supply, sewage disposal, urban solid waste collection, electricity, housing condition, household income, road paving, public lighting, open sewage, and tree coverage. Based on initial maps and AHP weighting, six thematic maps of the study area were generated: susceptibility to erosion in the basin, potential environmental impact of socioeconomic activities, rural quality of life, urban quality of life, provision of urban basic services, and urban surroundings quality. The mapping demonstrated an improvement trend in the quality of life in urban areas compared to rural areas, and in the central areas of cities compared to their outskirts. However, despite room for improvement, essential public services are present in almost the entire territory. The generated maps identify areas requiring greater management attention.

Keywords: Mapping. Multicriteria Analysis. Sustainable Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mapa de localização da área de estudo.....	20
Figura 2	- Porcentagem de trabalhadores ocupados por setor da economia.	23
Figura 3	- Exemplo de hierarquização para a técnica AHP.....	33
Figura 4	- Fluxograma de processos apresentando os procedimentos adotados.....	42
Figura 5	- Exemplo de planilha de cálculo da AHP para 11 variáveis.....	61
Figura 6	- Mapa pedológico da bacia do rio Corumbataí.....	67
Figura 7	- Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Corumbataí.....	68
Figura 8	- Mapa hipsométrico da bacia do rio Corumbataí.....	69
Figura 9	- Mapa de declividade da bacia do rio Corumbataí.....	70
Figura 10	- Mapa da distribuição de renda na zona rural da bacia do rio Corumbataí.....	71
Figura 11	- Mapa do abastecimento de água na zona rural da bacia do rio Corumbataí.....	72
Figura 12	- Mapa da distribuição de energia elétrica na zona rural da bacia do rio Corumbataí.....	73
Figura 13	- Mapa da destinação do lixo na zona rural da bacia do rio Corumbataí.....	74
Figura 14	- Mapa da destinação do esgoto na zona rural da bacia do rio Corumbataí.....	75
Figura 15	- Mapa do abastecimento de água na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	78
Figura 16	- Mapa da distribuição de energia elétrica na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	79
Figura 17	- Mapa da destinação do esgoto na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	80
Figura 18	- Mapa da coleta de lixo na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	81
Figura 19	- Mapa da condição das moradias na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	82

Figura 20	- Mapa do esgoto a céu aberto na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	83
Figura 21	- Mapa do lixo acumulado no entorno de domicílios na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	84
Figura 22	- Mapa da pavimentação das vias da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	85
Figura 23	- Mapa da iluminação pública da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	86
Figura 24	- Mapa da arborização da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	87
Figura 25	- Mapa da distribuição de renda na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	88
Figura 26	- Mapa de bueiros e bocas-de-lobo na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	89
Figura 27	- Mapa de susceptibilidade à erosão da bacia do rio Corumbataí..	96
Figura 28	- Mapa do potencial de impacto ambiental das atividades desenvolvidas na bacia do Rio Corumbataí.....	100
Figura 29	- Mapa da qualidade de vida na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.....	103
Figura 30	- Mapa do fornecimento de serviços básicos na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	106
Figura 31	- Mapa da qualidade do entorno dos domicílios da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	109
Figura 32	- Mapa da qualidade de vida nos domicílios da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Municípios da bacia do rio Corumbataí.....	19
Tabela 2	- Indicadores socioeconômicos da bacia do Corumbataí.....	24
Tabela 3	- Valores da AHP.....	33
Tabela 4	- Exemplo de matriz recíproca para subcritérios de uma variável...	34
Tabela 5	- Exemplo de matriz recíproca de variáveis em relação ao objetivo.....	34
Tabela 6	- Cálculo dos pesos normalizados a partir da matriz recíproca.....	35
Tabela 7	- ICR – Índices de Consistência Randômicos para n elementos....	36
Tabela 8	- Aplicações da AHP em ambiente SIG.....	40
Tabela 9	- Proporção de tipos de uso do solo na área de estudo.....	89
Tabela 10	- Matrizes AHP para uso e ocupação no mapa de susceptibilidade à erosão.....	93
Tabela 11	- Matrizes AHP para declividade no mapa de susceptibilidade à erosão.....	94
Tabela 12	- Matrizes AHP para susceptibilidade à erosão.....	95
Tabela 13	- Matrizes AHP para uso e ocupação no mapa de potencial de impacto.....	97
Tabela 14	- Matrizes AHP para as variáveis do mapa de qualidade de vida rural.....	101
Tabela 15	- Matrizes AHP para as variáveis do mapa de serviços básicos.....	104
Tabela 16	- Matrizes AHP para as variáveis do mapa de qualidade do entorno.....	107
Tabela 17	- Matrizes AHP para as variáveis do mapa de qualidade dos domicílios.....	110

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Área de Estudo	18
3.1.1. <i>Meio Socioeconômico</i>	21
3.1.2. <i>Meio Físico</i>	24
3.2. Planejamento e Gestão Territorial	26
3.3. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social	28
3.4. Métodos de Análise Multicritério	30
3.5. A Técnica AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>	32
3.6. Sistema de Informação Geográfica - SIG	36
3.7. Integração da Técnica AHP em Sistemas de Informação Geográfica	38
4. MÉTODO	41
4.1. Referencial Teórico	43
4.2. Levantamento de Dados	43
4.2.1. <i>Levantamento de Dados Ambientais</i>	44
4.2.1.1. Pedologia	44
4.2.1.2. Uso e Ocupação do Solo	45
4.2.1.3. Declividade	46
4.2.2. <i>Levantamento de Dados Socioeconômicos</i>	46
4.2.2.1. Abastecimento de Água	48
4.2.2.2. Destinação de Esgoto	49
4.2.2.3. Coleta de Lixo	50
4.2.2.4. Energia Elétrica	50
4.2.2.5. Condição de Moradia	51
4.2.2.6. Renda Familiar	52
4.2.2.7. Esgoto a Céu Aberto	53
4.2.2.8. Lixo Acumulado	54
4.2.2.9. Arborização	54
4.2.2.10. Pavimentação das Vias	55
4.2.2.11. Iluminação Pública	55
4.2.2.12. Bueiro e Boca de Lobo	56
4.3. Organização e Tratamento de Dados	57
4.3.1. <i>Elaboração de Mapas das Variáveis</i>	58
4.3.1.1. Conversão dos Mapas em Raster	58

4.3.2.	<i>Planilhas do Excel para Cálculo da AHP.....</i>	59
4.3.3.	<i>Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP</i>	62
4.4.	Interpretação de Dados	64
4.4.1.	<i>Análise da Distribuição Espacial das Variáveis do Estudo</i>	65
4.4.1.1.	<i>Variáveis Locais</i>	65
4.4.1.2.	<i>Variáveis Regionais.....</i>	65
4.4.2.	<i>Análise da Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP.....</i>	66
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1.	Distribuição Espacial das Variáveis.....	66
5.2.	Sobreposição Ponderada pela a AHP	91
5.2.1.	<i>Susceptibilidade à Erosão</i>	92
5.2.2.	<i>Potencial de Impacto Ambiental das Atividades Socioeconômicas</i>	97
5.2.3.	<i>Qualidade de Vida Regional na Bacia do Corumbataí</i>	101
5.2.4.	<i>Fornecimento de Serviços básicos urbanos.....</i>	104
5.2.5.	<i>Qualidade do Entorno no Meio Ambiente Urbano</i>	107
5.2.6.	<i>Qualidade dos Domicílios.</i>	110
6.	CONCLUSÕES	113
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
8.	REFERÊNCIAS	118

1. INTRODUÇÃO

Desde o seu surgimento, no final do século XX, o conceito de desenvolvimento sustentável ocupa posição central nos debates internacionais. De modo geral, pode ser compreendido como a união entre o crescimento econômico permanente e o desenvolvimento voltado para a melhoria dos indicadores sociais e ambientais (Moretto e Giacchini, 2006).

A necessidade de integrar considerações econômicas, sociais e ambientais no debate sobre desenvolvimento foi o pano de fundo de uma sequência de discussões, em diversos palcos mundiais, dentre as quais destacam-se a Conferência de Estocolmo (Estocolmo, 1972), a Eco 92 (Rio de Janeiro, 1992), a Rio + 10 (Johannesburgo, 2002) e a Rio + 20 (Rio de Janeiro, 2012).

Como resposta aos desafios deste debate, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) produziu o documento “Transformando o Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (ONU, 2015), no qual elencou 17 grandes objetivos e 169 metas para seus países membros.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como tornaram-se conhecidos, buscam o fortalecimento de ações que concretizem os direitos humanos de todos, sendo integrados e indivisíveis, e abrangendo as dimensões econômicas, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Segundo Frey (2020), os ODS devem orientar o debate e a formulação de políticas públicas a nível local, regional e nacional, possuindo influência direta nos diferentes aspectos do planejamento e da gestão do território.

Neste contexto, destaca-se aqui o ODS 11, qual seja, “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”. Para atingir este objetivo, a Agenda 2030 estabeleceu sete metas específicas, como “garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas”, e “aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis” (ONU, 2015).

Deste modo, o planejamento e gestão de território constitui-se como instrumento fundamental para o cumprimento destes objetivos. Conforme Dallabrida (2020a), este pode ser definido como um “processo de concertação social e tomada de decisão, envolvendo atores sociais, econômicos e agentes governamentais de um determinado recorte territorial, com vistas à definição de seu futuro”.

A fim de cumprir seus objetivos, de acordo com Becker (1998), o processo de elaboração de um plano estratégico de desenvolvimento percorre cinco fases: (1) pré-plano, que envolve a construção de um entendimento coletivo acerca da realidade; (2) fase qualitativa, dedicada à concepção do futuro desejado; (3) fase quantitativa, concentrada na análise e descrição da realidade existente, apresentando as necessidades, os interesses e as dificuldades; (4) o diagnóstico, entendido como a comparação entre a situação presente e o futuro desejado; (5) organização da ação e operacionalização do planejado, contemplando o processo de tomada de decisão, hierarquização de prioridades e a alocação de recursos.

Considerada a relevância local e regional do planejamento e gestão territorial, bem como sua estrutura conceitual, o presente trabalho contribui com este processo ao desenvolver atividades de sua fase quantitativa, empregando técnicas voltadas à descrição e análise da realidade, aplicadas no recorte territorial da Bacia do Rio Corumbataí, no interior do Estado de São Paulo.

As atividades de planejamento e gestão territorial são especialmente relevantes na Bacia do Corumbataí, por se tratar de polo socioeconômico regional importante do Estado de São Paulo. Simultaneamente, a região é reconhecida como uma das áreas da Mata Atlântica onde a biodiversidade está mais ameaçada, principalmente devido à escassez de fragmentos preservados, normalmente restritos a terrenos de alta declividade e trechos de mata ciliar (Valente, 2001).

Em tempos recentes, a dicotomia entre desenvolvimento e conservação se aprofundou na área de estudo, ao ser introduzido no debate o conceito da geodiversidade, e da necessidade de conservação de geossítios. Esta nova perspectiva ganhou espaço na mídia e tem movimentado diversos atores da sociedade civil regional que, em ação integrada, pleiteiam junto à UNESCO, a criação do “Geoparque Corumbataí”, o qual seria o primeiro de sua categoria no Estado de São Paulo (Kolya *et al.*, 2018).

Abrangendo uma área de 1.710 km², a Bacia do Rio Corumbataí compreende, integral ou parcialmente, os municípios de Analândia, Charqueada, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes, e enfrenta diversos desafios também no aspecto socioeconômico.

Frederice *et al.* (2010) explicam que a elevação do valor do espaço urbano força parte da população a habitar bairros periféricos das cidades, geralmente caracterizados por sua infraestrutura precária, com deficiências em serviços públicos essenciais como abastecimento de água, energia elétrica, coleta de lixo, saneamento básico, drenagem urbana, pavimentação de vias, entre outros.

A dificuldade de planejamento no uso e ocupação do território intensifica os desafios enfrentados por estes assentamentos, pois combina questões socioeconômicas com as situações de risco e degradação ambiental, como erosão e poluição (Malta, 2018).

Ao tratar da relação entre o meio ambiente e as transformações socioeconômicas, Ross (1994) explica que “a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas”, de modo que as modificações nos elementos naturais levam a desequilíbrios de diferentes intensidades no ambiente, de acordo com as variáveis envolvidas.

A avaliação integrada dessas variáveis permite estabelecer uma hierarquia de categorias de fragilidades dos ambientes. Estudos desta natureza são fundamentais para o planejamento e gestão do território, servindo como base para o zoneamento e fornecendo suporte à gestão ambiental e à definição de diretrizes e ações. (SPÖRL e ROSS, 2004)

Do mesmo modo que o meio ambiente, os assentamentos humanos também podem ser mais ou menos afetados pelas transformações da sociedade conforme suas fragilidades, como a urbanização desordenada, a deficiência no fornecimento de serviços essenciais e outras desigualdades sociais. Deste modo, o mapeamento conjunto de aspectos sociais e ambientais permite criar um retrato da realidade que, no contexto das atividades de planejamento e gestão do território, pode embasar o processo de tomada de decisão, hierarquizando áreas prioritárias para a alocação de recursos na formulação das políticas públicas.

Neste contexto, diferentes abordagens são utilizadas na tentativa de criar modelos de mapeamento representativos da realidade, por vezes referidos como “Cartografia da Realidade”, cujo objetivo é facilitar a compreensão espacial de coisas, conceitos, condições ou acontecimentos (Wood, 1978; Seemann, 2003).

No presente trabalho, a fim de atingir estes objetivos, foi realizado o mapeamento de fenômenos sociais e ambientais, realizada a partir da aplicação de uma Análise Multicritério em ambiente de Sistemas de Informação Geográficas (SIG).

O uso de SIGs na compreensão e no mapeamento de fenômenos sociais e ambientais é interessante, pois são ferramentas capazes de integrar dados de diferentes fontes, analisando-os de maneira multidisciplinar, o que torna possível, e relativamente simplificada, a avaliação integrada de um grande número de variáveis (Donha *et al.*, 2006). A fim de integrar estes dados emprega-se a técnica de análise multicritério denominada “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP).

A implementação da AHP em ambiente SIG tem a finalidade de avaliar a importância relativa de diferentes variáveis no mapeamento de cada um dos fenômenos estudados. A partir dos pesos conferidos a estas variáveis, é realizada a sobreposição ponderada de mapas temáticos que as representam. Este procedimento permite a visualização espacial das áreas com maiores e menores pontuações para cada fenômeno mapeado.

As variáveis aqui selecionadas dividem-se em dois grupos. O primeiro relaciona-se ao meio físico, englobando: Pedologia, Declividade e o Uso e Ocupação do Solo. O segundo grupo compreende variáveis de natureza socioeconômica, incluindo: Abastecimento de Água, Destinação de Esgoto, Coleta de Lixo, Energia Elétrica, Condição de Moradia, Renda Familiar, Pavimentação das Vias, Iluminação Pública, Bueiro e Boca de Lobo, Esgoto a Céu Aberto, Lixo Acumulado e Arborização.

A partir destas variáveis, seis mapas foram elaborados, sendo três em escala regional: Mapa de Potencial de Impacto de Atividades Socioeconômicas, Mapa de Susceptibilidade à Erosão, e Mapa da Qualidade de Vida Rural; e outros três em escala local: Mapa de Serviços Públicos Básicos, Mapa da Qualidade do Entorno no Meio Ambiente Urbano, e Mapa de Qualidade de Vida Urbana.

Diante do exposto, este trabalho justifica-se pela relevância do mapeamento socioambiental e por sua contribuição às atividades de planejamento e gestão do território na Bacia do Corumbataí, contribuindo para que a região promova a construção de comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é criar uma representação espacial das condições sociais e ambientais da BRC, que contribua com a capacidade de planejamento e gestão territorial e com o desenvolvimento sustentável regional.

Como objetivo específico, este trabalho visa elaborar mapas temáticos que hierarquizem áreas da bacia do Rio Corumbataí conforme suas fragilidades em relação aos diferentes fenômenos ambientais e sociais estudados.

Como objetivo secundário, procura-se investigar a adequabilidade e as limitações das técnicas utilizadas e das variáveis selecionadas para este tipo de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Área de Estudo

A Bacia do Corumbataí localiza-se no Estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro e Santa Gertrudes em sua totalidade, além de parte do território de Charqueada, Itirapina e Piracicaba, bem como os distritos de Ajapi, Assistência, Batovi, Ferraz, Paraisolândia, Recreio e Santa Teresinha do Piracicaba. As principais rodovias para acesso à área são SP-127, SP-191, SP-225 e SP-310 (Amorin *et al.*, 2005).

A Tabela 01, a seguir, apresenta os municípios da Bacia do Corumbataí, bem como informações sobre a área de cada um, seu número de habitantes e a distribuição urbana e rural de sua população. A Tabela apresenta totais com e sem os números do

município de Piracicaba, uma vez que ele possui apenas uma pequena fração de seu território contida na área de estudo.

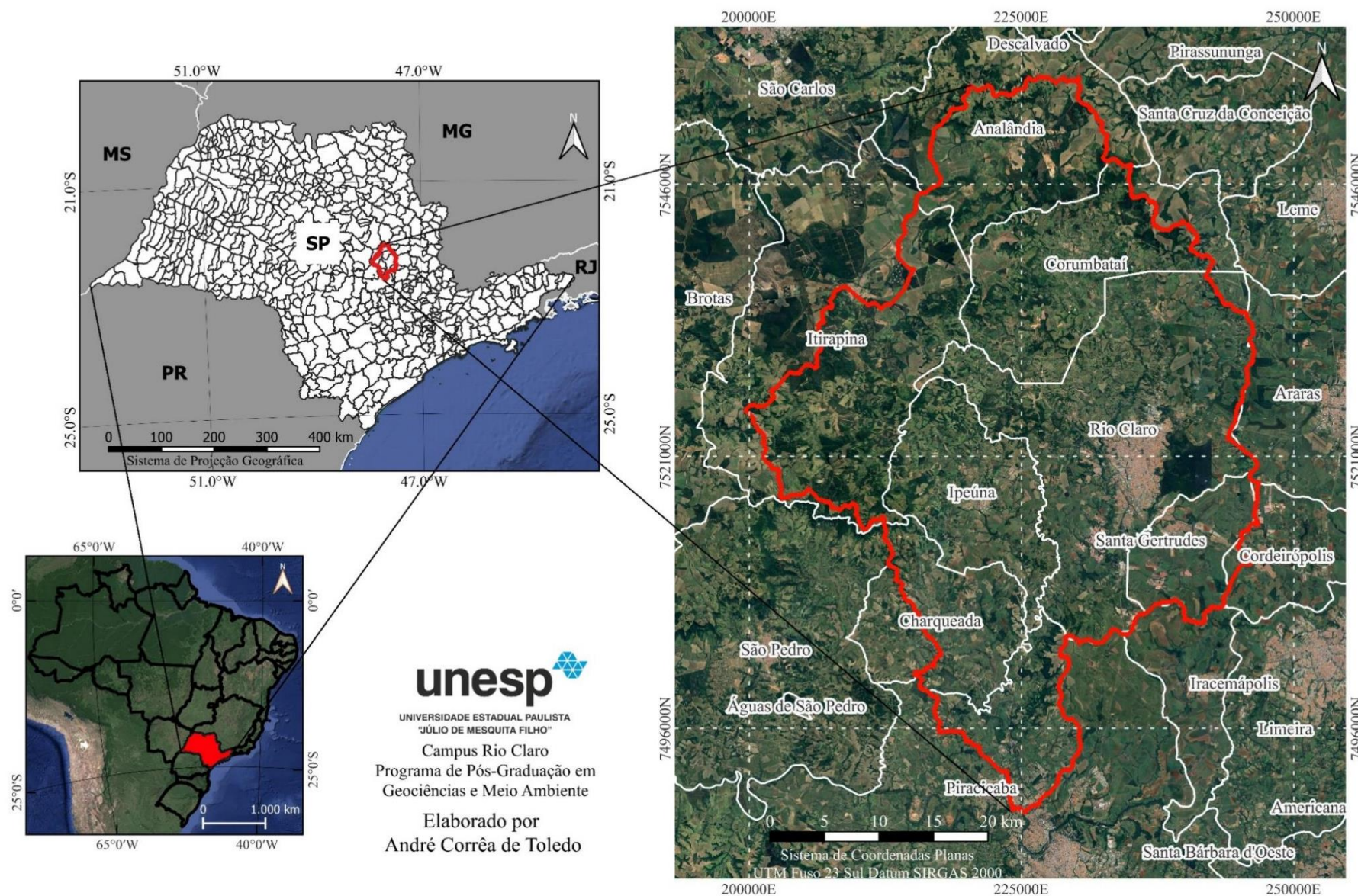
Tabela 01 – Municípios da Bacia do Rio Corumbataí.

Município	Área (km²)	População (2010)	População Urbana (2010)	População Rural (2010)	População Atual (2022)
Analândia	325	4.289	3.401	888	4.577
Charqueada	175	15.086	13.689	1.397	15.739
Corumbataí	278	3.874	2.093	1.781	4.667
Ipeúna	190	6.016	5.178	838	7.538
Itirapina	564	15.528	14.004	1.524	16.157
Piracicaba	1.378	364.872	355.136	9.736	434.432
Rio Claro	498	186.299	181.766	4.533	206.950
Santa Gertrudes	98	21.644	21.414	230	23.721
TOTAL (com Piracicaba)	----	617.608	596.681	20.927	713.781
TOTAL (sem Piracicaba)	----	252.736	241.545	11.191	279.349

Fonte: IBGE, Censo 2010 e 2022.

A Figura 01, a seguir, apresenta o mapa de localização da área de estudo.

Figura 01 – Mapa de Localização da Área de Estudo - Bacia do Rio Corumbataí.



3.1.1. Meio Socioeconômico

Garcia (2001) explica que a Bacia do Corumbataí teve sua ocupação iniciada ainda no século XVIII, época em que possuía vocação agrária, com criação de gado e cultura canavieira, eventualmente substituída pelo café, o grande motor da ocupação e do desenvolvimento regional.

Por outro lado, o mesmo autor lembra que a cafeicultura, somada às ferrovias e suas máquinas a vapor, bem como às serrarias e olarias do século XIX, também foram responsáveis pelo intenso desmatamento de suas áreas nativas, reduzida apenas a alguns resquícios preservados.

Já nas primeiras décadas do século XX, o capital proveniente da agricultura cafeeira estimulou a industrialização da região, sendo notável o surgimento de pequenas e grandes indústrias, tanto a partir da burguesia do café, quanto a partir de outros atores da sociedade, como os imigrantes estrangeiros (Garcia, 2001).

Em tempos modernos, houve a reorganização da agricultura, tendo novamente como principal expoente a cana-de-açúcar. Garcia (2001) destaca que houve uma diminuição no número de estabelecimentos agrícolas na região, enquanto seu tamanho médio aumentou. Como consequência, houve um aumento na desigualdade de distribuição de terras, evidenciando o conflito entre a agricultura tradicional, com propriedades menores e a expansão agroindustrial.

Devido a esta realidade, atualmente a maior parte da população reside em áreas urbanas, de modo que a bacia conta com apenas cerca de 4% de sua população em zonas rurais, conforme anteriormente apresentado na Tabela 01.

Neste contexto, destaca-se o município de Rio Claro, o qual se consolida como referência econômica dentro da bacia, onde encontram-se empresas de ramos industriais, agropecuários, comerciais e de serviços, sendo o município com maior população e maior geração de riqueza dentro da bacia, à exceção de Piracicaba.

Santa Gertrudes, por sua vez, apresenta uma relevante indústria cerâmica, que atualmente colabora para que o setor industrial empregue a maior parte da força de trabalho do município.

Em tempos recentes, deve-se destacar também o setor industrial de Itirapina, o qual, impulsionado pela indústria automobilística ali implantada, vem gerando milhares de empregos diretos e indiretos, tanto para esta cidade quanto para os demais municípios em seu entorno. Como consequência, houve um aumento da renda e arrecadação tributária na região, bem como melhorias na infraestrutura urbana e de transportes (Candido *et al.*, 2019).

Em contraste, nos municípios de Analândia, Corumbataí, Charqueada e Ipeúna a geração de riqueza vem sendo tradicionalmente pautada em monoculturas como a cana de açúcar e o eucalipto. Entretanto, nota-se aqui uma tendência de incentivo ao turismo, focado principalmente na exploração dos recursos paisagísticos de suas zonas rurais. Diversos trabalhos acadêmicos vêm sendo realizados nestes municípios com o objetivo de inventariar sítios com potencial de exploração turística, fornecendo diretrizes para o desenvolvimento sustentável destas atividades (Moraes e Guimarães, 2001; Oliveira, 2010; Almeida *et al.*, 2020).

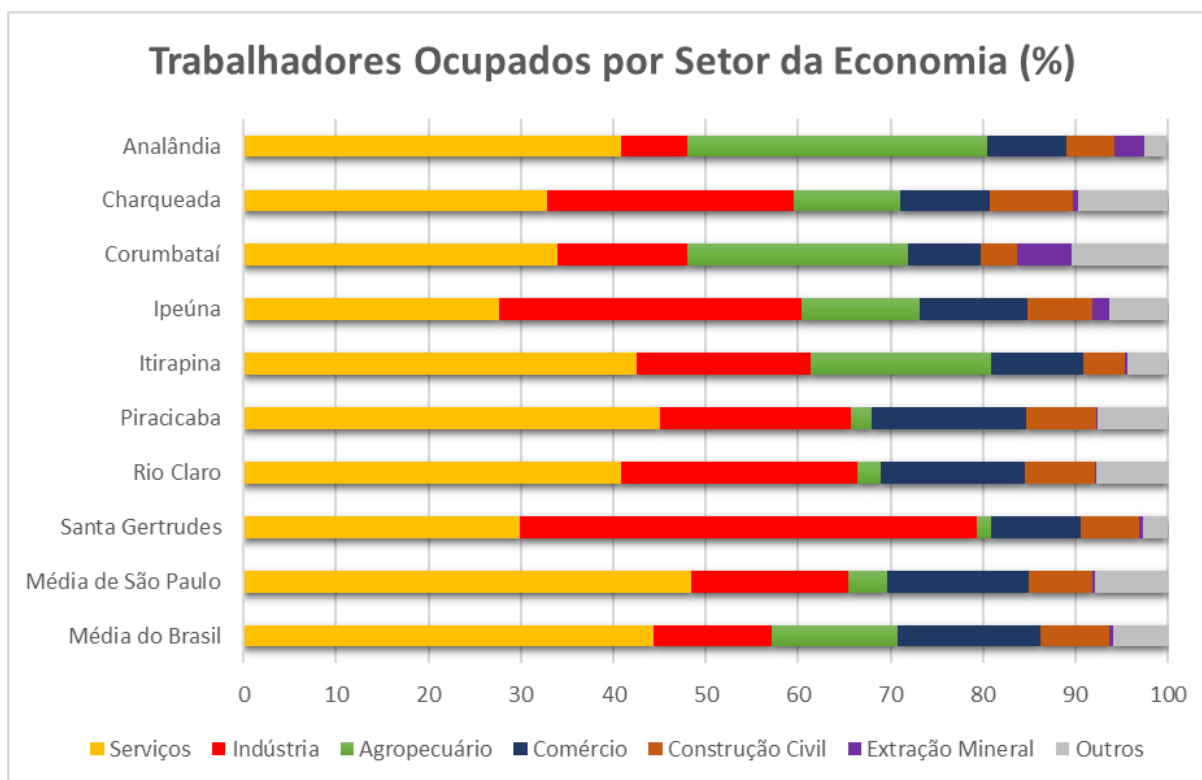
Quanto às atividades pecuárias, Santos e Garcia (2006) afirmam estarem presentes em todos os municípios, destacando o predomínio de rebanhos bovinos na bacia, com relevantes criações de suínos e equinos, e com destaque para o aumento no ramo de avinos.

A Figura 02, a seguir, apresenta a distribuição percentual de ocupação dos trabalhadores por setor da economia para os municípios da Bacia do Corumbataí.

Neste gráfico é possível observar que, em termos gerais, a maior parte da população empregada atua no setor de serviços, mas com grande parcela trabalhando tanto no setor agropecuário quanto na indústria, inclusive, em índices superiores às médias estaduais e nacionais.

Interessante notar o setor intitulado como “outros”, o qual é relevante em cidades como Charqueada e Corumbataí, sobretudo por englobar as atividades de turismo, incentivadas na região.

Figura 02 – Porcentagem de trabalhadores ocupados por setor da economia.



Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Pnud Brasil, Ipea e FJP, 2022.

Em relação à qualidade de vida da população, a Tabela 02, a seguir, apresenta alguns indicadores socioeconômicos relevantes para os municípios da bacia do Corumbataí.

Todos os municípios possuem IDH superior a 0,700, semelhantes às médias do Brasil e do Estado de São Paulo, com destaque para o município de Rio Claro, o único a ultrapassar a faixa de 0,800. Do mesmo modo, a expectativa de vida da população também varia entre valores de 73 a 76 anos, próximos às médias nacionais e estaduais.

Por outro lado, é evidente uma maior diferença na renda per capita, onde observa-se diversos municípios com renda per capita na casa dos 700 reais, enquanto Rio Claro e Piracicaba passam dos 1000 reais, reforçando a posição de referência econômica destes municípios na bacia.

O mesmo efeito também é observado na escolaridade da população, onde nota-se uma distribuição semelhante entre quase todos os municípios, enquanto Rio Claro e Piracicaba apresentam maiores índices de escolaridade.

Tabela 02 – Indicadores socioeconômicos da Bacia do Corumbataí.

Municípios	IDHM	Esperança de vida (anos)	Renda per capita (R\$)	Escolaridade (% da população com 25 anos ou mais)		
				Fundamental Completo	Médio Completo	Superior Completo
Analândia	0,754	76,7	823	48	35	11
Charqueada	0,736	74,2	705	46	29	7
Corumbataí	0,754	75,4	741	45	28	6
Ipeúna	0,753	75,7	785	45	29	8
Itirapina	0,724	73,8	772	46	28	7
Piracicaba	0,785	75,9	1143	60	43	16
Rio Claro	0,803	76,7	1049	63	47	16
Santa Gertrudes	0,737	75,8	718	47	27	5
Média de São Paulo	0,783	75,7	1084	59	42	15
Média do Brasil	0,727	73,9	793	51	36	11

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Pnud Brasil, Ipea e FJP, 2022, obtidos do IBGE, Censo 2010.

3.1.2. Meio Físico

A Bacia do Rio Corumbataí é uma sub-bacia do Rio Piracicaba, que por sua vez compõe a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 05 – Piracicaba, Jundiaí, Capivari. (UGRHI 05 – PCJ).

O Rio Corumbataí, principal drenagem da bacia, nasce na zona rural do município de Analândia (SP), a cerca de 1040 m de altitude e atravessa os municípios de Corumbataí (SP) e Rio Claro (SP), percorrendo cerca de 110 km até sua foz, a 460 m de altitude, no Rio Piracicaba, o qual é tributário do Rio Tietê, integrando a bacia do Rio Paraná (Palma-Silva *et al.*, 2007; Nassif, 1998).

A rede hidrográfica da área é composta por quatro rios principais, o Corumbataí, e seus afluentes Passa Cinco e Cabeça pela margem direita e o Ribeirão Claro pela margem esquerda.

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente, na Depressão Periférica Paulista, a qual é delimitada pela borda do Planalto Cristalino e pelas escarpas das zonas das cuestas do Planalto Ocidental Paulista. Deste modo, a Bacia do Corumbataí apresenta relevo suavemente ondulado,

com altitudes entre 550 m e 650 m em suas várzeas, e 600 m a 650 m em suas regiões interfluviais (CEAPLA, 2023).

Por outro lado, há um grande desnível em relação às escarpas, o qual pode chegar a até 300 metros. Localizadas a norte, noroeste e oeste da bacia, as escarpas recebem diversos nomes locais como a Serra do Itaqueri, Serra de São Pedro e Serra do Cuscuzeiro, atingindo cotas de até 1000 metros. São destas regiões que nascem os principais rios da bacia, como o Rio Corumbataí, e seus afluentes Ribeirão Claro e Passa Cinco (CEAPLA, 2023).

Na área de estudo são encontradas diversas unidades de solo, entretanto, de maneira geral, a maior parte destas unidades pode ser enquadrada nos seguintes grupos, conforme classificação feita pela Embrapa (1999), cujas porcentagens representam a proporção da área da bacia com este tipo do solo: Argissolos vermelho amarelo e vermelho escuro (46,25%), Latossolos vermelho amarelo e vermelho eutrófico e eutroférico (30,07%), e Neossolos litólicos e quartzarênicos (22,43%) (Oliveira e Prado, 1984; Vettorazzi, 2006).

Sobre o tema da litologia e geodiversidade, Amorin *et al.* (2005) lembram que devido a existência de um alto estrutural na região, conhecido como o “Domo de Pitanga”, houve o soerguimento tectônico da sequência geológica deposicional, promovendo a exposição de diversas unidades litológicas da Bacia do Paraná. Deste modo, é possível encontrar registros de vários tipos de rochas sedimentares e vulcânicas na área de estudo, as quais remontam mais de 250 milhões de anos de história, percorrendo as eras Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica, pertencentes às Formações Rio Claro, Pirambóia, Corumbataí e Irati (Koffler, 1994).

A Bacia do Corumbataí apresenta também uma diversidade paleontológica relevante, possuindo diversos geossítios paleontológicos de valor turístico, educacional e científico, documentados em trabalhos como o de Tomazele (2023), que atribui a eles relevância para a sociedade local, assim como para trabalhos acadêmicos em geral. É com base nas características singulares desta bacia que a sociedade pleiteia junto à Unesco a criação do Geoparque Corumbataí.

O clima da bacia é enquadrado como Cwa de acordo com a classificação sistemática de Köppen, sendo caracterizado como clima subtropical com estação fria e seca no inverno e quente e úmida no verão. A precipitação média anual varia de

1250 mm em regiões de menor altitude a 1450 mm na região serrana, indicando uma influência significativa da topografia na distribuição pluviométrica (Nobre, 2008)

3.2. Planejamento e Gestão Territorial

Antes de se tratar do planejamento e gestão territorial, faz-se necessário definir o conceito de território.

Autores como Dallabrida (2020b) servem-se da Escola Territorialista Italiana para explicar a abordagem antropobiocêntrica do patrimônio territorial, fundamentada a partir de uma visão multidisciplinar do planejamento e gestão do território, que engloba o patrimônio socioeconômico, ambiental e territorial.

Para os propositores desta escola de pensamento, como Poli (2015) e Magnaghi (2010) os diferentes aspectos do território atuam como mecanismo de empoderamento das comunidades locais, servindo como pilares para os projetos de desenvolvimento sustentável.

Tais autores destacam que o conceito de patrimônio territorial deve transcender elementos pontuais, como uma montanha ou um monumento, e ser entendido como algo único e integrado, que evolui a partir da relação entre a natureza e a cultura. Deste modo, o território não se resume ao plano de fundo para o desempenho de atividades, mas consiste em elemento proativo no planejamento, resultado de processos históricos de construção, que transformaram a natureza em território.

O patrimônio territorial possui seis componentes: (1) patrimônio produtivo, com seus recursos financeiros, terras, equipamentos e infraestrutura; (2) patrimônio natural, antropizado ou não, incluindo a paisagem, solos, minerais, fauna e flora; (3) patrimônio humano e intelectual, o *“know-how”*, o conhecimento acadêmico e profissional, a criatividade; (4) patrimônio cultural, os valores, bens culturais e até mesmo a cultura empresarial; (5) patrimônio social, com valores compartilhados socialmente, formas de associativismo e redes sociais; e (6) patrimônio institucional, com instituições públicas e privadas, de caráter social, cultural, político, entre outros (Dallabrida *et al.*, 2016).

Portanto, o patrimônio territorial consiste em um sistema sinérgico que engloba o meio físico natural, as modificações promovidas pelo ambiente antropicamente construído, e os fenômenos socioculturais que ali se desenvolvem (Dallabrida, 2020a).

Este novo paradigma conceitual permite superar as visões tradicionais de recurso e capital territorial, segundo as quais o território teria valor apenas a partir de suas especificidades, que poderiam ser utilizadas para alcançar vantagens econômicas, transformando o território um mero recurso a ser explorado para o desenvolvimento.

Neste contexto, retoma-se aqui o processo sistemático de elaboração de um plano estratégico, descrito por Becker (1998), anteriormente apresentado. As cinco fases descritas podem ser resumidas como (1) o entendimento coletivo da realidade; (2) a concepção do futuro desejado; (3) a análise e descrição da realidade atual; (4) a comparação entre a situação presente e o futuro desejado; e (5) a organização da ação.

Ao se compreender o conceito do patrimônio territorial e o processo de elaboração de um plano estratégico para sua gestão, depreende-se a necessidade de conhecer o território em toda sua complexidade, com seus diferentes aspectos sociais e ambientais. Este conhecimento embasa a construção de um diagnóstico que contempla a situação atual, em contraste com a situação futura almejada para o território, explicitando os recursos disponíveis, as limitações e as necessidades da região.

A partir deste diagnóstico é possível planejar políticas e alocar recursos de maneira não apenas eficiente, mas de modo a superar modelos predatórios de desenvolvimento, os quais resultam na destruição tanto do meio ambiente natural quanto da cultura e do modo de vida da sociedade (Dallabrida, 2020b).

Portanto, o planejamento e da gestão do território exercem um papel crucial na preservação da identidade da comunidade e na promoção seu desenvolvimento sustentável.

3.3. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social

O presente estudo abordou o planejamento e a gestão territorial voltados para a descrição do território. Neste contexto, uma das maiores contribuições que um retrato fiel da realidade pode fornecer ao campo do planejamento consiste na identificação das áreas com maiores fragilidades e vulnerabilidades.

Conforme explicado por Gimenes e Filho (2013) não há consenso na literatura sobre a definição do conceito de fragilidade ambiental, sendo comum a confusão com outros termos semelhantes como a vulnerabilidade.

Ratcliffe (1974, *apud* Gimenes e Filho, 2013) define fragilidade ambiental como a medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais, combinada com as potenciais ameaças externas ao sistema.

Por outro lado, para Goldsmith (1986, *apud* Gimenes e Filho, 2013) a fragilidade diz respeito apenas aos fatores internos do sistema. Para este autor, a combinação entre a fragilidade e as ameaças externas denomina-se vulnerabilidade.

Gimenes e Filho (2013) resumem a relação entre fragilidade e vulnerabilidade ao explicar que a fragilidade é uma característica intrínseca do ambiente, enquanto a vulnerabilidade diz respeito aos resultados das interações deste ambiente com as perturbações antrópicas.

Nilsson e Grelsson (1995), ao discorrerem sobre o tema da fragilidade, destacam alguns pontos importantes para sua compreensão. A fragilidade dificilmente será quantificada de maneira absoluta, sendo normalmente relacionada a um aspecto específico por vez, e ainda assim estas são dificilmente valoradas. Deste modo, os autores destacam que as diferentes fragilidades de um ambiente não estão necessariamente interrelacionadas, ou seja, o meio pode ser considerado frágil em relação a determinado fenômeno, porém estável em relação a outro.

Desta forma, o mesmo ambiente, com sua fragilidade inerente, pode ser mais vulnerável a mudanças de uso do solo que promovam atividades de extração mineral do que a mudanças que promovam atividades de turismo, por exemplo.

Complementarmente, Ross (1994) explica que a fragilidade dos ambientes em face de uma intervenção antrópica depende de suas características genéticas. Para

este autor, os ambientes encontram-se naturalmente em equilíbrio dinâmico até que se iniciem as atividades humanas de exploração de recursos.

Por fim, é fundamental destacar que as fragilidades observadas em um ambiente podem variar conforme a escala utilizada para o estudo, tanto em sua dimensão espacial quanto em sua dimensão temporal (Nilsson e Grelsson, 1995).

Por esta razão, ao se hierarquizar áreas com diferentes fragilidades, entende-se necessária uma análise multidisciplinar, que abranja o fenômeno estudado, o tipo de uso e ocupação do território, as características da população local e as características naturais intrínsecas à área.

Assim como no aspecto ambiental, quando se trata das características sociais de uma população, é comum na literatura o uso do termo vulnerabilidade social.

Janczura (2012), ao debater as diferenças conceituais entre risco e vulnerabilidade social, faz uso das definições de Carneiro e Veiga (2004), os quais definem vulnerabilidade social como a baixa capacidade material, simbólica e comportamental de pessoas ou populações em enfrentar e superar situações de risco.

Assim como anteriormente discutido para a área ambiental, na área social entende-se o risco como situações inerentes ao ciclo de vida das pessoas, as quais estão associadas às condições da comunidade e do ambiente em que se desenvolvem.

Os autores citados entendem que a pobreza é o maior fator de aumento da exposição a riscos, uma vez que populações pobres normalmente não possuem uma rede pública de proteção social, como o acesso a serviços essenciais e a bens materiais que facilitem o enfrentamento das adversidades.

Janczura (2012) alerta que diferentes aspectos da vulnerabilidade social atuam de maneira sinérgica, potencializando o surgimento de novas fragilidades. Por exemplo, a baixa renda tende a culminar na baixa escolaridade e em condições de moradia precárias, as quais são normalmente estabelecidas em locais inadequados, e acabam gerando ambientes degradados e em condições sanitárias impróprias, o que acarreta prejuízos à saúde da população.

Comunidades expostas a estas condições não dispõem dos recursos necessários para enfrentar os riscos a que estão submetidas, encontrando-se em

desvantagem em relação a comunidades menos vulneráveis. Esta condição é traduzida na literatura como a “privação de capacidades” (Sen, 2000 *apud* Janczura, 2012). Ou seja, comunidades tidas como excluídas, possuem menor capacidade de atuação na busca por patamares razoáveis de condição de vida e segurança social.

Dessa forma, reduzir a vulnerabilidade social implica em melhorar as condições da população, incluindo o amplo acesso a serviços públicos essenciais de saneamento, transporte, educação, moradia, saúde e até mesmo ao respaldo nas áreas da cultura, lazer, segurança e justiça. Ações neste sentido melhoram não apenas a qualidade de vida da população, mas também sua capacidade de ação e autodesenvolvimento.

Entretanto, assim como as vulnerabilidades sociais são fruto de inúmeros fatores, os planos necessários para sua redução também necessitam de atuação em várias frentes, exigindo a análise de diversas variáveis e um planejamento multidisciplinar, capaz de promover a implementação de ações de maneira integrada (Carneiro e Veiga, 2004 *apud* Janczura, 2012).

Neste contexto, conforme o objetivo de cada análise, diferentes hierarquias de fragilidades podem ser identificadas para uma área, gerando retratos distintos da mesma realidade, feitos a partir da observação por lentes diferentes, cada qual adequada para sua finalidade.

Desta forma, devido ao número de variáveis utilizadas no presente trabalho, fez-se necessário utilizar ferramentas de análise multicritério capazes de integrar uma grande quantidade de dados de diferentes naturezas, conforme discutido a seguir. Da mesma maneira, devido à distribuição espacial destas variáveis, foi fundamental também o uso de um SIG, brevemente descrito na sequência, o qual permitiu a integração destas técnicas para a produção dos resultados.

3.4. Métodos de Análise Multicritério

Em tempos recentes, tornou-se comum a utilização de ferramentas de auxílio à tomada de decisão no enfrentamento de problemas complexos e multivariados, como por exemplo na avaliação de impactos ambientais, em análises de riscos, entre outros.

A gestão pública brasileira vem seguindo esta tendência, e incorporando novos métodos e ferramentas para a elaboração de diagnósticos, identificação espacial de áreas de interesse e monitoramento dos programas de intervenção (Jannuzzi *et al.*, 2009).

A literatura especializada neste tema geralmente denomina técnicas de tomada de decisão que envolvem múltiplos critérios como Métodos de Análise Multicritério ou MCDA (*Multi-criteria Decision Analysis*). Conforme lembram Ayala e Frank (2013), atualmente existem diversos métodos que se enquadram nesta categoria, como, por exemplo: MAUT (*Multiattribute Utility Theory*), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ANP (*Analytic Network Process*), NCIC (*Non-Traditional Capital Investment Criteria*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations*), ELECTRE (*Elimination Et Choice Translation Reality*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*).

Basicamente, todos estes métodos têm como objetivo auxiliar o tomador de decisão na organização das informações disponíveis a partir de múltiplas variáveis, a fim de que este possa decidir com segurança e clareza, facilitando a compreensão das subjetividades envolvidas e embasando o processo decisório.

Ayala e Frank (2013) destacam que cada uma destas ferramentas possui vantagens e desvantagem que as tornam propícias para determinados fins. Algumas destas técnicas pressupõem o uso de estruturas matemáticas rígidas e complexas, enquanto outras são de utilização mais simples e flexível.

No presente trabalho optou-se pelo uso da técnica AHP. Para além de sua notável simplicidade e flexibilidade, esta técnica apresenta alguns atributos interessantes, como a facilidade de integração com outras ferramentas, como os SIGs, e a possibilidade de medição da consistência dos julgamentos subjetivos envolvidos na análise.

Também foi relevante para esta escolha o fato de que durante a etapa de síntese de prioridades, explicada no tópico seguinte, a AHP permite a comparação da importância relativa dos elementos considerados na análise, conforme sua posição na hierarquia. Este atributo da técnica, associado aos SIGs, permite visualizar a

distribuição espacial dos elementos avaliados, bem como seu valor na análise (Ayala e Frank, 2013).

Além disso, esta técnica possui vasta aplicação na literatura, com sucesso nas mais diferentes áreas, conforme discutido nos tópicos subsequentes, o que contribui para o aumento de sua aceitação, bem como para a confiabilidade de seus resultados.

3.5. A Técnica AHP - *Analytic Hierarchy Process*

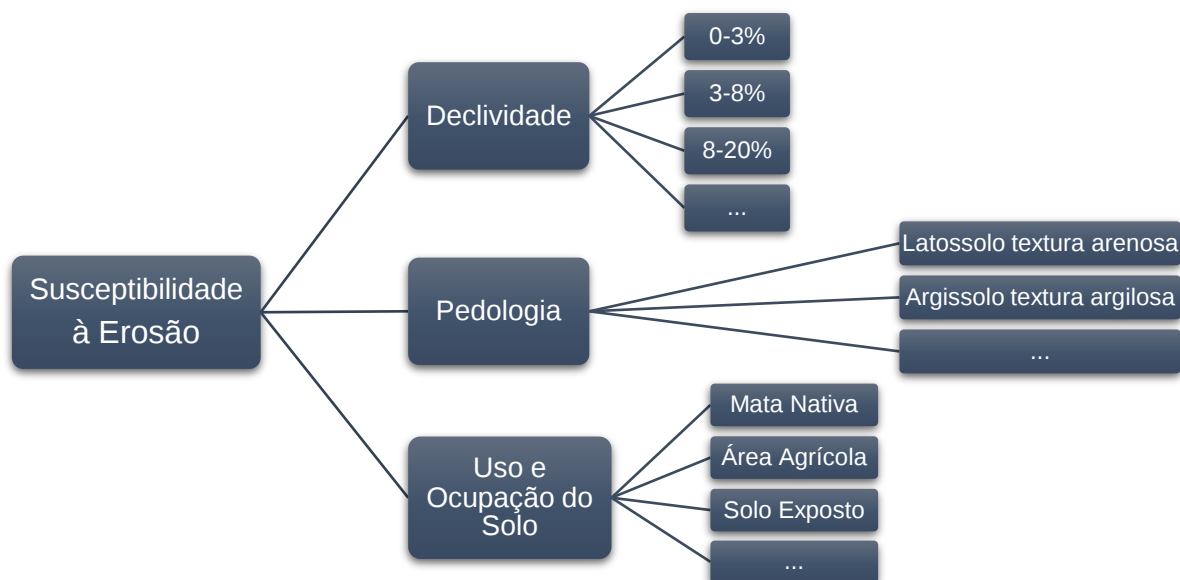
O “Processo Analítico Hierárquico” (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty nos Estados Unidos na década de 1970, sendo um dos métodos de análise multicritério mais amplamente utilizados. Este método é aplicado em tomadas de decisão de situações com estruturas multivariadas complexas (Pimenta *et al.*, 2019).

A AHP tem o objetivo de superar as limitações de tomadores de decisão em problemas de seleção de alternativas com múltiplos critérios, visando a redução da subjetividade inerente ao processo de decisão.

Conforme explicado por Saaty (1991), a operacionalização da técnica AHP se dá por meio da aplicação de três princípios básicos: decomposição, comparação e síntese de prioridades.

O princípio da decomposição visa construir uma hierarquia de elementos, de forma que os elementos de um determinado nível sejam independentes dos elementos nos níveis posteriores. Este processo é realizado a partir do objetivo principal, estabelecido no topo da hierarquia, passando por critérios relacionados a este objetivo no segundo nível, e por subcritérios no terceiro nível (SAATY, 1991).

A fim de exemplificar este processo, toma-se como exemplo o estudo da Susceptibilidade à Erosão. No presente trabalho, durante a avaliação deste objetivo, as variáveis (ou critérios) utilizadas foram: Uso e Ocupação do Solo, Pedologia e Declividade. Cada uma destas variáveis, por sua vez, foi subdividida em diferentes categorias (subcritérios). A figura 03, a seguir, apresenta esta subdivisão hierárquica.

Figura 03 – Exemplo de hierarquização para a técnica AHP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, é aplicado o princípio da comparação, o qual se dá por meio de julgamentos pareados que visam determinar a importância relativa entre os elementos de um mesmo nível, tendo em vista os critérios e objetivos estabelecidos nos níveis acima. Os valores de julgamento variam de 1 a 9, conforme apresentado na Tabela 03, a seguir.

Tabela 03 – Valores da AHP.

Valor	Definição
1	Mesma importância entre as duas variáveis
3	Pequena importância de uma variável sobre a outra
5	Média importância de uma variável sobre a outra
7	Grande importância de uma variável sobre a outra
9	Absoluta importância de uma variável sobre a outra
2, 4, 6, 8	Valores intermediários de importância
Frações recíprocas	Quando a variável A recebe o valor 3 em relação a B, a variável B deve receber o valor 1/3 em relação a A.

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Utilizando estes valores, são construídas as matrizes de comparação recíprocas pareadas. No exemplo apresentado, foram elaboradas quatro matrizes, sendo uma delas ponderando-se as variáveis (Declividade, Pedologia e Uso do Solo)

em relação ao objetivo principal (Susceptibilidade à Erosão), e as outras três matrizes ponderando as categorias dentro de uma mesma variável.

A Tabela 04, a seguir, apresenta um exemplo de matriz recíproca na qual é feita a comparação par a par entre cada uma das categorias presentes na variável Declividade. Na sequência, a Tabela 05 apresenta o mesmo procedimento, desta vez realizado para comparar a importância relativa de cada uma das variáveis em relação ao objetivo Susceptibilidade à Erosão.

Tabela 04 – Exemplo de Matriz Recíproca para subcritérios de uma variável.

Declividade	0 - 3%	3 - 8%	8 - 20%	20 - 45%	45 - 75%	> 75%
0 - 3%	1/1	1/3	1/6	1/7	1/8	1/9
3 - 8%	5/1	1/1	1/5	1/6	1/7	1/8
8 - 20%	6/1	5/1	1/1	1/3	1/4	1/5
20 - 45%	7/1	6/1	3/1	1/1	1/2	1/3
45 - 75%	8/1	7/1	4/1	2/1	1/1	1/2
> 75%	9/1	8/1	5/1	3/1	2/1	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 05 – Exemplo de Matriz Recíproca de variáveis em relação ao objetivo.

Susceptibilidade a Erosão	Declividade	Pedologia	Uso e Ocupação
Declividade	1/1	2/1	3/1
Pedologia	1/2	1/1	2/1
Uso e Ocupação	1/3	1/2	1/1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme lembra Faria (2011), as matrizes recíprocas respeitam as condições de: Identidade, uma vez que sua diagonal principal é composta pelo número 1, indicando igualdade de um elemento consigo mesmo; Reciprocidade, pois os elementos correspondentes, acima e abaixo da diagonal principal são inversos, ou seja, $a_{ij} = 1/a_{ji}$; e Transitividade, afinal, a matriz deve ser coerente, de modo que, na comparação entre três variáveis, quando A for mais importante do que B e B for mais importante do que C, obrigatoriamente A deverá ser mais importante do que C.

A próxima etapa consiste em construir a Matriz Normalizada, calculada a partir da divisão de cada elemento da matriz recíproca pela soma de sua coluna. Em seguida, calcula-se a média de cada uma das linhas da matriz normalizada, cujo resultado consiste no peso relativo da respectiva variável. A Tabela 06, a seguir,

exemplifica este procedimento para o cálculo da importância relativa das variáveis em relação à susceptibilidade à erosão.

Tabela 06 – Cálculo dos Pesos Normalizados a partir da Matriz Recíproca

Matriz Recíproca	Declividade	Pedologia	Uso e Ocupação	
Declividade	1/1	2/1	3/1	
Pedologia	1/2	1/1	2/1	
Uso e Ocupação	1/3	1/2	1/1	
SOMA	11/6	7/2	6/1	
Matriz Normalizada	Declividade	Pedologia	Uso e Ocupação	Pesos Normalizados
Declividade	6/11	4/7	3/6	0,5389
Pedologia	3/11	2/7	2/6	0,2973
Uso e Ocupação	2/11	1/7	1/6	0,1638

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final desta etapa foram obtidas as importâncias relativas de cada uma das categorias que compõem as variáveis, bem como o peso de cada uma das variáveis em relação ao objetivo.

Na sequência, o terceiro princípio é aplicado, a síntese de prioridades, a fim de determinar a contribuição global de cada elemento na construção do objetivo. Esta prioridade é obtida por meio da ponderação da importância das categorias do nível mais básico, com a importância das variáveis no nível acima.

Por fim, realiza-se uma análise da consistência dos pesos conferidos às variáveis, a fim de determinar se as avaliações foram coerentes entre si (SAATY, 1990).

Para se analisar a consistência das matrizes deve-se inicialmente calcular o autovalor máximo ($\lambda_{\max}$) da matriz recíproca. Conforme Saaty (1991), a maneira mais simples de se estimar o valor de $\lambda_{\max}$ é adicionar as colunas da matriz recíproca e multiplicar o vetor resultante com o vetor W (os pesos normalizados).

Para o caso em tela, rearranjando os fatores da multiplicação, tem-se:

$$\lambda_{\max} = 0,54 \cdot (11/6) + 0,30 \cdot (7/2) + 0,16 \cdot (6/1) = 3,0112$$

Uma vez determinado o $\lambda_{\max}$, calcula-se o Índice de Consistência (IC), conforme a seguinte fórmula:

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

$$\text{no caso: } IC = 3,0112 - 3 / (3 - 1) = 0,0056$$

Uma vez calculado o IC, deve-se compará-lo ao Índice de Consistência Randômico (ICR), o qual representa o IC esperado para uma matriz de ordem n preenchida de maneira aleatória. Em seus trabalhos, Saaty (1991) apresenta valores tabelados para o ICR, apresentados na Tabela 07, a seguir.

Tabela 07 – Índices de Consistência Randômicos (ICR) para n elementos.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ICR	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1991).

A comparação se dá por meio da Razão de Consistência ($RC = IC / ICR$), o qual deve ser menor que 0,1 ou 10%, para que os valores atribuídos na análise ponderada sejam considerados coerentes. No exemplo citado, $IC = 0,0056$ e $n = 3$, ou seja, o $ICR = 0,58$, logo, $RC = 0,0056 / 0,58 = 0,0096$, ou aproximadamente 0,01 ou 1%, o que indica que o raciocínio foi consistente.

Em resumo, a AHP visa subdividir hierarquicamente julgamentos complexos em comparações mais simples. Embora não seja possível eliminar a subjetividade no nível mais básico do julgamento pareado, este processo possibilita uma avaliação quantitativa coerente a partir de ponderações intrinsecamente qualitativas.

Como os cálculos de matrizes tornam-se exponencialmente mais complexos conforme se aumenta o número de seus elementos, no presente trabalho foram elaboradas planilhas no software Excel, a fim de automatizar estes procedimentos.

3.6. Sistema de Informação Geográfica - SIG

Conforme anteriormente mencionado, o presente trabalho teve seu banco de dados estruturado por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Segundo Almeida *et al.* (2007), os SIGs são ferramentas que permitem a manipulação de dados distribuídos no espaço, facilitando o gerenciamento de informações espaciais contidas em bancos de dados. Estas ferramentas permitem

realizar a coleta, organização e tratamento de dados geográficos, tornando possível a identificação de padrões e tendências espaciais.

Deste modo, SIGs são ferramentas poderosas em análises ambientais, sendo capazes de auxiliar na avaliação e quantificação de fenômenos naturais e de impactos ambientais provenientes de ação antrópica, servindo como base para a formulação de estratégias de planejamento e gestão do meio ambiente e de gerenciamento de risco (Santos *et al.*, 2017).

A inovação dos SIGs em relação a bancos de dados tradicionais se dá pela possibilidade de integração e manipulação de dois tipos de informação distintos, os dados de atributos e os dados espaciais.

Dados de atributos consistem em informações alfanuméricas, armazenadas nas chamadas tabelas de atributos. Nestas tabelas, cada linha pode ser vinculada a uma feição do mapa, e suas colunas podem conter informações a elas relacionadas.

Os dados espaciais, por sua vez, relacionam-se a informações vinculadas a uma localização no espaço, por meio de um sistema de coordenadas (geográficas ou projetadas) utilizado em um mapa-base da área de interesse (Rosa, 2005).

Esta categoria de dados subdivide-se nos formatos vetorial e *raster*.

Conforme explicam Sutton *et al.* (2023), arquivos vetoriais referem-se a formas geométricas, armazenadas como uma série de pares de coordenadas (X , Y), cujas características permitem sua diferenciação em pontos, linhas ou polígonos. Este tipo de informação permite representar feições do mundo real dentro do ambiente SIG. Exemplos de feições podem ser: propriedades rurais ou bairros de cidades (polígonos); estradas ou rios (linhas); imóveis ou árvores (pontos).

Atrelados aos arquivos vetoriais existe sempre uma tabela de atributos, a qual armazena as informações alfanuméricas vinculadas a cada uma de suas feições. Por exemplo, em uma representação dos bairros de uma cidade, para cada polígono representado no mapa há uma linha da tabela de atributos a ele vinculada cujas colunas podem conter informações como o nome do bairro, o tamanho de sua população, a quantidade de escolas, dados sobre a criminalidade, entre outros.

Arquivos *raster*, por outro lado, são compostos por pontos, denominados *pixels*, organizados em uma grade plana de linhas e colunas, exatamente como uma

fotografia convencional. A cada um destes *pixels* está relacionada uma informação espacial, ou seja, sua localização no sistema de coordenadas, e uma informação numérica, a qual pode ter diferentes significados, como por exemplo: altitude do terreno (mapas hipsométricos), inclinação do terreno (mapa de declividade); temperatura (mapa de calor); entre inúmeras outras características quantificáveis.

Cada formato de arquivo permite diferentes tipos de análises e processamento de dados, sendo possível, inclusive, a conversão de um formato para o outro, conforme as necessidades do pesquisador. Por exemplo, nas fases finais desta pesquisa, todos os dados coletados em formato vetorial foram convertidos para o formato *raster*, para que operações de álgebra de mapas pudessem ser realizadas, por meio da ferramenta denominada calculadora *raster*, explicada posteriormente, a qual permitiu integrar a técnica AHP ao ambiente SIG.

No presente trabalho, optou-se pelo uso do *software* QGIS, em sua versão 3.28, *Firenze*. O QGIS consiste em um SIG de código aberto (*open source*), elaborado pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), e licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU), sendo gratuito e de livre acesso. O projeto é impulsionado por voluntários, que colaboram com o projeto na forma de contribuições de código, relatórios e correções de *bugs*, e documentações em geral (QGIS, 2023).

3.7. Integração da Técnica AHP em Sistemas de Informação Geográfica

A natureza multidisciplinar das análises ambientais faz com que os trabalhos de planejamento e gestão do meio ambiente frequentemente envolvam um número considerável de variáveis. A fim de processar estas informações em um ambiente SIG, diversas técnicas de análise multicritério foram integradas a estes sistemas de informação.

Dentre as diferentes técnicas de análise multicritério, a AHP vem se mostrando como uma das mais amplamente utilizadas na literatura nacional e internacional, com grande sucesso em diferentes áreas de aplicação quando integrada aos SIGs, sobretudo em áreas correlatas ao planejamento e gestão do território.

Tashayo *et al.* (2020), por exemplo, estudaram a adequabilidade de diferentes regiões no sul do Irã para a cultura de trigo. Por meio da combinação de técnicas de

geoestatística, da AHP e de SIGs, os autores lograram êxito na identificação das áreas mais e menos propícias para esta cultura, concluindo que o método empregado é útil para o planejamento e gestão do território e consequente proteção do meio ambiente.

Estudos semelhantes foram realizados com sucesso para outras culturas e regiões, como, por exemplo, para o arroz na Turquia (Dengiz *et al.*, 2013), e para a rotação de culturas de milho, arroz e juta (fibra vegetal para tecidos) na Índia (Mandal *et al.*, 2020).

Outro estudo interessante da combinação destas técnicas foi o elaborado por Singh e Katpatal (2017), na Índia, para a construção de um sistema de monitoramento de água subterrânea. Neste trabalho, os autores propuseram o uso da técnica AHP, combinada à Geoestatística e SIGs, a fim de distribuírem poços de monitoramento na região de interesse. Dados os elevados custos de implantação e de operação destes poços, fez-se necessários desenhar um sistema que levantasse o maior volume de dados da água subterrânea, utilizando a menor quantidade de poços de monitoramento possível.

Os autores utilizaram a técnica AHP para identificar as áreas onde era necessária uma densidade maior de poços, a partir de uma série de variáveis consideradas para o estudo. Em seguida, fizeram uso de Krigagem para distribuírem espacialmente os poços nas melhores configurações possíveis.

Em território nacional, Gimenes e Filho (2013) fizeram uso da técnica AHP aliada a SIGs para elaborar mapas de fragilidade ambiental voltados para a identificação de zonas críticas para a implantação e operação de um oleoduto de grande extensão no estado de São Paulo. Este tipo de trabalho mostra o potencial destas técnicas no auxílio à gestão de obras públicas e privadas.

Merece destaque também o trabalho realizado por Paula e Cerri (2012), no qual os autores utilizaram a técnica AHP no contexto do mapeamento de zonas de risco geológico de movimentação de massa nos municípios de Itapecerica da Serra e Suzano (SP). Os autores concluíram que o uso da técnica torna os resultados do mapeamento mais fundamentados, uma vez que permite averiguar a consistência dos julgamentos dos autores. Este trabalho demonstrou a aplicabilidade da AHP em um contexto de tomada de decisões que podem tornar as cidades mais seguras,

reduzindo os riscos aos quais a população se expõe e, em última análise, salvando vidas.

Por fim, para sintetizar o panorama de utilização da técnica AHP em ambiente SIG, apresenta-se aqui uma fração do levantamento realizado por Pimenta *et al.* (2019), no qual lista-se uma série de trabalhos acadêmicos desenvolvidos com estas metodologias, destacando suas diferentes aplicações, áreas de estudo e variáveis utilizadas, conforme pode ser visto na Tabela 08, a seguir.

Tabela 08 – Aplicações da AHP em ambiente SIG.

Aplicação	Área de Estudo (ano)	Variáveis Utilizadas
Planejamento Urbano	Área urbana do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. (2008)	Volume de Tráfego e Classificação Funcional; Tipo de Rota; Capacidade Funcional; Capacidade Estrutural; Idade; Localização; Questões de Segurança; Questões Ambientais; Fatores Econômicos.
Deslizamento de Terra	Bacia hidrográfica de Gish, oeste da Índia. (2017)	Fatores Desencadeantes; Fatores Litológicos; Fatores de Superfície; Fatores Antropogênicos; Fatores Protetivos.
Turismo	Província de Surat Thani, Tailândia. (2011)	Paisagem; Vida Selvagem; Topografia; Acessibilidade; Características da Comunidade.
Irrigação	Região de Nabeul-Hammamet, Tunísia. (2012)	Classes de Capacidade de Uso da Terra; Conflitos de Recursos; Econômico; Ambiental.
Agricultura Uso da terra	Distrito de Yusufeli na cidade de Artvin, Turquia. (2013)	Classes de Solo; Classes de Capacidade de Uso da Terra; Sub-classes de Capacidade de Uso da Terra; Profundidade do Solo; Erosão; Outras Propriedades do Solo; Declividade; Aspectos (Irradiação); Elevação.
Desenvolvimento Sustentável Encostas	Município de George, Malásia. (2014)	Rodovia Primária, Rodovia Secundária, Elevação, Declividade, Aspecto, Terras Agrícolas, Área Florestal, Residência Existente, Terras Alagadas, Águas superficiais
Construção de estações de combate a incêndio	Área urbana de Pequim, China. (2011)	Densidade Populacional; Perdas após Incêndios Prediais; Distância da Estação de Combate a Incêndio mais Próxima.
Energia	Região de Karapinar, Konya/Turquia. (2013)	Distância de Áreas Residenciais; Uso da Terra; Distância de Rodovias; Declividade; Distância de Linhas de Transmissão.
Risco de Inundação	Área de Penampang, Sabah/Malásia. (2017)	Precipitação; Gradiente de Declividade; Elevação; Densidade de Drenagem; Uso da Terra; Texturas do Solo; Curvas de Declividade; Acúmulo de Fluxo
Recursos Hídricos	Bacia hidrográfica de Comoro, Timor Leste. (2017)	Densidade Linear; Uso da Terra; Declividade; Topografia; Solo; Litologia; Densidade de Drenagem; Precipitação.
Saúde	Região Metropolitana de Campinas, Brasil (2017)	Iluminação Pública; Pavimentação; Calçamento; Arborização; Esgoto a Céu Aberto; Lixo Acumulados; Rede Geral Distribuição de Água.

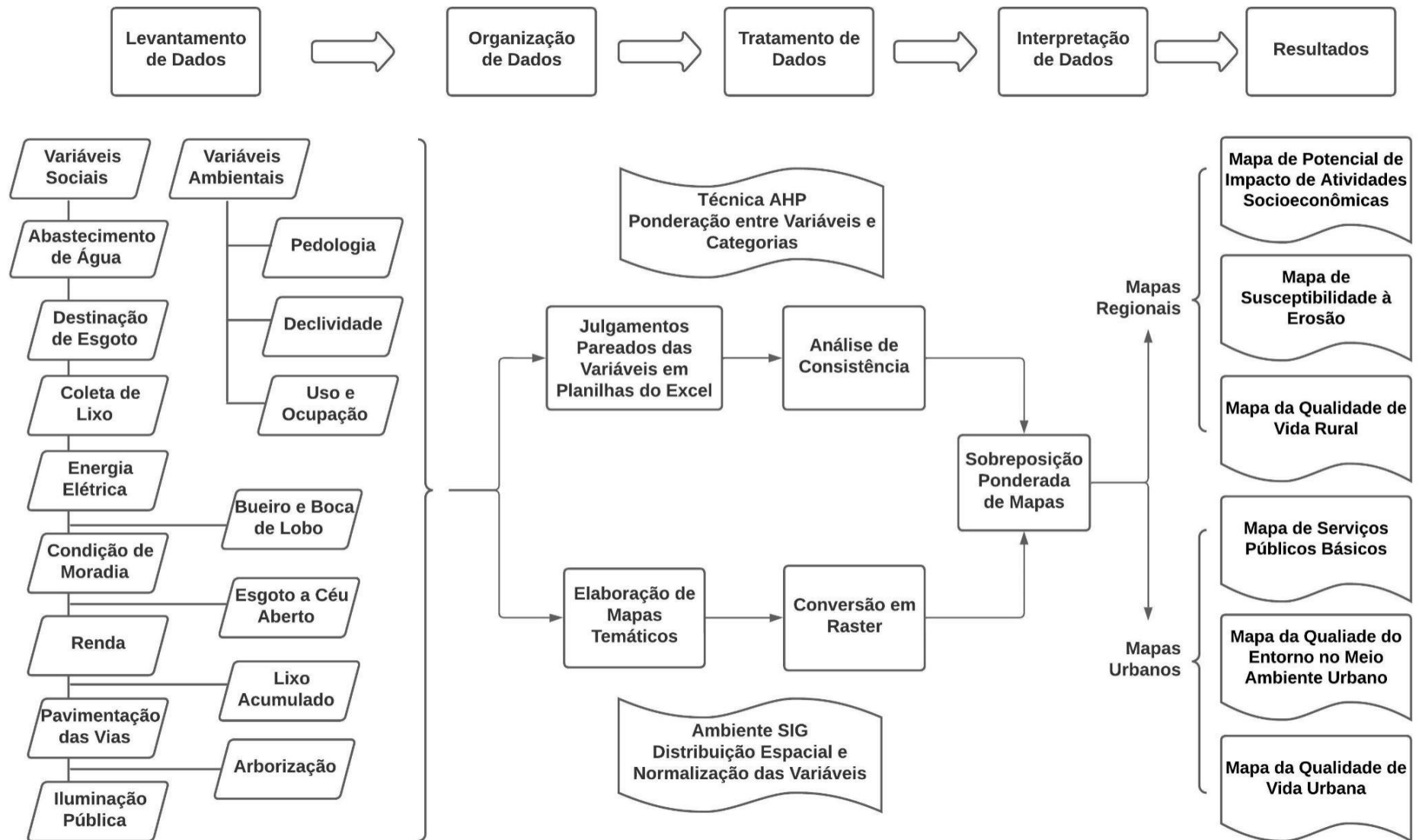
Fonte: Adaptado de Pimenta *et al.* (2019).

4. MÉTODO

O presente trabalho foi estruturado em cinco etapas subsequentes: 1 – Referencial Teórico; 2 - Levantamento de Dados; 3 - Organização e Tratamento de Dados; 4. Interpretação de Dados; e 5. Conclusões.

A Figura 04, a seguir, apresenta um fluxograma de processos descrevendo as etapas do trabalho. Na sequência, detalha-se os procedimentos adotados em cada uma das etapas do trabalho.

Figura 04 – Fluxograma de processos apresentando os procedimentos adotados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1. Referencial Teórico

Durante a pesquisa de referencial teórico, foram pesquisados textos de diferentes estilos literários acadêmicos, como dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos científicos sobre os seguintes temas: caracterização da área de estudo; fragilidade ambiental e vulnerabilidade social; SIG (ênfase em QGIS); análise multicritério (AHP); utilização da técnica AHP em ambiente SIG para diferentes aplicações; e sobre as variáveis relevantes para o estudo, como a pedologia e a declividade, por exemplo.

Como método de busca para tal material foram utilizadas ferramentas de pesquisa bibliográfica acadêmica como o *Google Scholar* e a *Scielo (Scientific Eletronic Library Online)*, bem como consultas ao acervo online disponível de universidades como o Repositório Institucional da UNESP.

Conhecimentos práticos sobre a operacionalização de ferramentas de softwares como o QGIS e o Excel foram obtidos por meio de tutoriais e vídeo aulas, disponíveis em plataformas abertas como o *Youtube*.

4.2. Levantamento de Dados

Para os procedimentos de levantamento, organização e tratamento de dados, foi criada uma base de dados georreferenciada em ambiente SIG utilizando o software QGIS v. 3.28, com o sistema de coordenadas referente ao Datum SIRGAS 2000, na Zona UTM 23 Sul.

O levantamento de dados foi dividido em duas grandes etapas. A primeira consistiu na coleta de dados de cunho ambiental, e a segunda, no levantamento de dados socioeconômicos.

Foram coletados dados secundários provenientes de bancos de dados de livre acesso, disponíveis na internet, pertencentes ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado de São Paulo (SIMA), bem como imagens de satélite provenientes do *Google Earth™*. Foram utilizadas informações do Censo do IBGE do ano de 2010, uma vez que, até a data

de fechamento dos trabalhos, ainda não haviam sido integralmente divulgados os dados referentes ao Censo 2022.

4.2.1. *Levantamento de Dados Ambientais*

O levantamento de dados de cunho ambiental incluiu as seguintes variáveis: pedologia, declividade e uso e ocupação do solo.

4.2.1.1. Pedologia

Para o levantamento de informações acerca pedologia da área de estudo, consultou-se o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em sua página oficial, disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?edicao=15931&t=downloads>>.

Neste sítio, consultou-se o Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil, em escala 1:250.000, de onde extraiu-se informações acerca da pedologia do país. Novamente em ambiente SIG, foram utilizadas ferramentas para recortar os vetores conforme os limites da bacia do rio Corumbataí.

A principal característica pedológica utilizada no presente trabalho foi a erodibilidade do solo, matematicamente descrita pelo Fator K cuja unidade de medida é t.ha.h/ha.MJ.mm.

Utilizando os dados gerados por Mannigel *et al.* (2002), em seu estudo acerca da erodibilidade dos solos do estado de São Paulo, foram identificadas cinco categorias de interesse na área de estudo, com diferentes fatores de erodibilidade dos horizontes A e B, conforme a classe e a textura dos solos.

As categorias são: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura média (LVAd27 e LVAd29), Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa (LVd8), Latossolo Vermelho Distroférrico com textura argilosa/muito argilosa (LVdf7), Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura arenosa/média (PVAd22 e PVAd23), e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média/argilosa (PVAd33 e PVAd9).

As categorias foram diferenciadas em ambiente SIG, e o Fator K de cada uma delas foi inserido em sua tabela de atributos a fim de ser posteriormente utilizado na sobreposição ponderada de mapas.

4.2.1.2. Uso e Ocupação do Solo

As informações do uso e ocupação do solo foram levantadas na Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SMA), por meio da Coordenadoria de Planejamento Ambiental, de onde adquiriu-se o Mapa de Uso e Cobertura da Terra UGRHI 05 (PCJ), em escala 1:25.000 (SMA, 2013).

Importante ressaltar que o mapa utilizado se baseia em levantamento de informações realizado no ano de 2013, ou seja, cerca de três anos após o Censo 2010.

Os arquivos no formato *shapefile* encontravam-se disponíveis no sítio <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-uso-e-ocupacao-da-terra-ugrhi-5-pcj/>>.

Os dados apresentavam-se distribuídos em três níveis de informação. Em seu primeiro nível havia divisões genéricas como “áreas naturais” e “áreas artificiais”, as quais eram subdivididas, em segundo nível, em “áreas edificadas” “loteamentos” ou “mineração”, por exemplo. O terceiro nível, por fim, segregava ainda mais as categorias, destacando informações como a densidade de ocupação e o padrão das edificações.

Deste modo, dada a grande quantidade de classes e subclasses de uso e ocupação solo, foi necessário reorganizar os dados em novas categorias, que pudessem ser utilizadas no presente trabalho. As categorias são: agricultura, pastagem, reflorestamento, corpos d’água, solo erodido, área urbana geral, loteamento, áreas naturais, extração mineral, indústria e aterro.

A reorganização dos dados foi feita em ambiente SIG, utilizando a calculadora de campos da tabela de atributos do QGIS para atribuir um número a cada classe, por meio de comandos do tipo CASE, WHEN, =, ELSE.

4.2.1.3. Declividade

Os dados de declividade originaram-se do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de São Paulo, o qual foi elaborado pela SMA de São Paulo, a partir de processamento em ambiente SIG das curvas de nível digitalizadas das cartas do IBGE, Instituto Geográfico e Geológico (IGG) e Departamento de Serviços Geográficos do Exército, na escala 1:50.000. O arquivo, em formato *Raster*, foi obtido no endereço: https://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/MDE_ESP_v2.rar.

Utilizando ferramentas de análise de *Raster* do QGIS, procedeu-se a elaboração do mapa de declividades, a partir da informação de elevação do MDE.

Foi utilizada a calculadora *Raster* para definir valores de declividade expressos em porcentagem para cada pixel da imagem. Em seguida, utilizando a ferramenta de reclassificação por tabela, foram criadas seis classes de declividades, com base em valores definidos pela EMBRAPA (LE MOS e SANTOS, 1996): Plano: 0% a 3%, Suave Ondulado: 3% a 8%, Ondulado: 8% a 20%, Forte Ondulado: 20% a 45%, Montanhoso: 45% a 75%, Escarpado: Acima de 75%.

Após os pixels serem reclassificados nas categorias descritas, realizou-se uma nova normalização, convertendo os valores para números entre 0 e 1, a fim de que pudessem ser utilizados nos cálculos a serem realizados nas etapas seguintes.

4.2.2. *Levantamento de Dados Socioeconômicos*

As variáveis de natureza socioeconômica foram obtidas a partir do Censo 2010 realizado pelo IBGE, uma vez que, até a data de fechamento dos trabalhos, conforme informações oficiais do IBGE, os dados do Censo 2022 ainda não haviam sido integralmente publicados.

O Censo 2010 inovou em sua coleta de informações, ao incluir variáveis que pudessem ser utilizadas para a criação de um diagnóstico do entorno dos domicílios, com ênfase nas condições do meio ambiente urbano (IBGE, 2023).

Neste contexto, optou-se pelo levantamento de dados sobre os seguintes temas: abastecimento de água, destinação de esgoto, coleta de lixo, energia elétrica,

condição de moradia, renda familiar, pavimentação das vias, iluminação pública, bueiro e boca de lobo, esgoto a céu aberto, lixo acumulado e arborização.

Conforme explicado pelo IBGE (2023), há uma preocupação no Censo em garantir a privacidade dos dados pessoais da população pesquisada. Deste modo, é necessário manter um nível mínimo de desagregação dos dados, que impossibilite sua individualização, não sendo possível publicar informações como a renda específica de um determinado domicílio. Esta questão afeta diretamente o formato em que os dados podem ser apresentados.

Deste modo, os dados são agregados em setores censitários, dentro dos quais são armazenadas estatísticas acerca dos domicílios nele contidos. Em relação à formatação e estrutura dos dados, os setores censitários consistem em polígonos cujas informações espaciais permitem localizá-los em uma base de dados georreferenciada.

Em ambiente SIG, é possível vincular uma tabela de atributos a cada polígono, ou setor censitário, na qual incluem-se informações estatísticas relacionadas a cada uma das variáveis de interesse.

Dentre as informações disponíveis para cada setor censitário, o Censo 2010 apresenta um total de 4110 variáveis, distribuídas em 26 planilhas do formato “.xls” ou “.csv”, das quais 3059 referem-se a características dos domicílios, enquanto 1051 dizem respeito ao seu entorno. A grande quantidade de variáveis provém do cruzamento de informações exemplificado a seguir.

A variável simples denominada “V002: Domicílios particulares permanentes”, indica a quantidade deste tipo de domicílio presente no setor censitário, o qual é definido como “Domicílio construído para servir [...] de moradia a uma ou mais pessoas”.

Por outro lado, a maior parte das variáveis é complexa, incorporando diferentes características dos domicílios, como, por exemplo, “V370: Domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal domiciliar per capita até 1/4 do Salário Mínimo – Existe lixo acumulado nos logradouros”. Esta variável indica a quantidade de domicílios no setor censitário que atende cumulativamente a todas as características citadas.

Como se trata de uma contagem de domicílios, os dados são sempre apresentados como números inteiros positivos ou iguais a zero. Entretanto, para que a sobreposição de mapas por meio da técnica AHP pudesse ser operacionalizada, fez-se necessário converter estes valores para números reais entre 0 e 1.

Desta forma, as variáveis de interesse do presente projeto foram compostas e normalizadas a partir da seleção e combinação aritmética de diversas variáveis do Censo 2010, utilizando ferramentas de cálculo de campos de planilhas no QGIS.

A cada um dos setores censitários foram vinculados 12 (doze) índices, um para cada variável estudada, variando entre 0 e 1, os quais representam a proporção de domicílios no setor considerados “Adequados” para a respectiva variável.

A composição dos índices de adequabilidade de cada variável é descrita a seguir. Na sequência, são explicados os procedimentos operacionais de coleta dos dados.

4.2.2.1. Abastecimento de Água

Foi utilizada como fonte de dados o *Arquivo Domicílio, características gerais*, do qual as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V002:** Domicílios particulares permanentes.
- **V012:** Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral.
- **V013:** Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade.
- **V014:** Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna.
- **V015:** Domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água.

A fim de categorizar estes dados de modo a obter uma proporção da quantidade de domicílios de cada setor censitário com abastecimento de água, independente da fonte, realizou-se a seguinte operação: $(V012+V013+V014+V015) / (V002)$.

Para a hipótese de abastecimento de água realizado apenas pela rede geral, considerou-se a operação V012 / V002.

4.2.2.2. Destinação de Esgoto

Para esta variável foi necessário considerar que existem domicílios que nem ao menos possuem banheiro para uso dos moradores, ou seja, não há que se falar em coleta e destino de esgoto em tais situações.

Da mesma maneira, setores censitário rurais e urbanos apresentam dados diametralmente opostos neste quesito, uma vez que não há rede de esgoto para a maior parte da zona rural da bacia do Corumbataí. Deste modo, coletaram-se dados pensando em duas situações distintas, uma rural e outra urbana.

Foi utilizada como fonte de dados o *Arquivo Domicílio, características gerais*, do qual as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V016:** Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário.
- **V017:** Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial.
- **V018:** Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica.
- **V019:** Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar.
- **V023:** Domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário.

Para a zona urbana considerou-se como destinação adequada apenas a coleta via rede geral de esgoto, de modo que, para obter a proporção de domicílios de cada setor censitário com coleta adequada, realizou-se a operação: $[(V017) / (V016 + V023)]$.

Por outro lado, devido à ausência de rede geral de esgoto na área rural, considerou-se um critério de menos rígido, englobando a fossa séptica e fossa rudimentar como adequadas, e o descarte em valas (V020), rios, lagos e mares (V021)

e outros escoadores (V022), como inadequados. Para tanto, a operação realizada foi $[(V017+V018+V019) / (V016 +V023)]$.

4.2.2.3. Coleta de Lixo

Foi utilizada como fonte de dados o *Arquivo Domicílio, características gerais*, do qual as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V002:** Domicílios particulares permanentes.
- **V035:** Domicílios particulares permanentes com lixo coletado.
- **V037:** Domicílios particulares permanentes com lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza.

A fim de categorizar estes dados de modo a obter uma proporção da quantidade de domicílios de cada setor censitário com coleta de lixo, realizou-se a seguinte operação: $(V035+V037) / (V002)$.

O Censo levantou outras hipóteses de destinação final de resíduos, as quais foram consideradas como inadequadas no presente trabalho, sendo equivalentes a hipótese de não coleta do lixo. São elas: lixo queimado (V038), enterrado (V039), jogado em terreno baldio (V040), jogado em rio, lago ou mar (V041) e outros destinos (V042).

Ao se levantar os dados notou-se que, na zona rural dos municípios, as destinações mais comuns eram V038, V039, V40 e V042.

4.2.2.4. Energia Elétrica

Foi utilizada como fonte de dados o *Arquivo Domicílio, características gerais*, do qual as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V002:** Domicílios particulares permanentes.
- **V046:** Domicílios particulares permanentes sem energia elétrica.

A fim de categorizar estes dados de modo a obter uma proporção da quantidade de domicílios de cada setor censitário com fornecimento de energia elétrica, realizou-se a seguinte operação: $[1 - (V046 / V002)]$.

4.2.2.5. Condição de Moradia

Em relação à condição das moradias, o Censo 2010 classificou os domicílios nas categorias “Adequada”, “Semiadequada” e “Inadequada”. Tais informações foram levantadas apenas para as áreas urbanas.

Por uma questão de estrutura dos dados, não foi localizada uma variável que indicasse unicamente se as moradias eram adequadas ou não. Tal informação estava sempre condicionada a uma segunda variável, como por exemplo, a existência de identificação do logradouro.

Deste modo, utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 02*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V202:** Domicílios particulares permanentes com moradia adequada – Existe identificação do logradouro.
- **V203:** Domicílios particulares permanentes com moradia adequada – Não existe identificação do logradouro.
- **V204:** Domicílios particulares permanentes com moradia semi-adequada – Existe identificação do logradouro.
- **V205:** Domicílios particulares permanentes com moradia semi-adequada – Não existe identificação do logradouro.
- **V206:** Domicílios particulares permanentes com moradia inadequada – Existe identificação do logradouro.
- **V207:** Domicílios particulares permanentes com moradia inadequada – Não existe identificação do logradouro.

Para categorizar estes dados a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com classificação de moradia “Adequada”, foi realizada a operação: $[(V202 + V203) / (V202 + V203 + V204 + V205 + V206 + V207)]$.

4.2.2.6. Renda Familiar

Em relação à renda familiar dos domicílios, inicialmente é necessário adotar como base um valor arbitrário que seja considerado como “adequado”, a fim de realizar a proporção de domicílios que atendam a este parâmetro.

Ciente da subjetividade desta decisão, no presente trabalho foram considerados como “adequados” os domicílios com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 01 (um) salário mínimo.

Os dados de renda do Censo 2010 encontravam-se no *Arquivo Renda dos Domicílios*, fragmentados em diversas faixas, de modo que, para se calcular a proporção de domicílios “adequados”, fez-se necessário o uso das seguintes variáveis:

- **V005:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo.
- **V006:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo.
- **V007:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo.
- **V008:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo.
- **V009:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos.
- **V010:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos.
- **V011:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos.
- **V012:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos.
- **V013:** Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos.
- **V014:** Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita.

Para categorizar estes dados a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com classificação de renda “Adequada”, foi realizada a operação:

$(V009+V010+V011+V012+V013)/(V005+V006+V007+V008+V009+V010+V011+V012+V013+V014)$.

4.2.2.7. Esgoto a Céu Aberto

Novamente, por uma questão de estrutura dos dados, não foi localizada uma variável que indicasse unicamente se havia esgoto a céu aberto nas imediações dos domicílios. Tal informação estava sempre condicionada a uma segunda variável, como por exemplo, se os domicílios eram próprios, alugados ou cedidos.

Tais informações também foram levantadas apenas para as áreas urbanas.

Deste modo, utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V050:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe esgoto a céu aberto.
- **V051:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não existe esgoto a céu aberto.
- **V052:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe esgoto a céu aberto.
- **V053:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não existe esgoto a céu aberto.
- **V054:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe esgoto a céu aberto.
- **V055:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não existe esgoto a céu aberto.

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário onde não existe esgoto a céu aberto no entorno, foi realizada a operação: $[(V051 + V053 + V055) / (V050 + V051 + V052 + V053 + V054 + V055)]$.

Destaca-se que as condições aqui descritas, tanto relacionadas à estrutura dos dados quanto à restrição destes às áreas urbanas, estiveram presentes durante o levantamento de todas as variáveis apresentadas deste ponto em diante.

4.2.2.8. Lixo Acumulado

Utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V056:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe lixo acumulado nos logradouros.
- **V057:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não existe lixo acumulado nos logradouros.
- **V058:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe lixo acumulado nos logradouros.
- **V059:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não existe lixo acumulado nos logradouros.
- **V060:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe lixo acumulado nos logradouros.
- **V061:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não existe lixo acumulado nos logradouros.

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário onde não existe lixo acumulado no entorno, foi realizada a operação: $[(V057 + V059 + V061) / (V056 + V057 + V058 + V059 + V060 + V061)]$.

4.2.2.9. Arborização

Utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V044:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe Arborização
- **V045:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não Existe Arborização
- **V046:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe Arborização
- **V047:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não Existe Arborização
- **V048:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe Arborização

- **V049:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não Existe Arborização

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com arborização no entorno, foi realizada a seguinte operação:

$$[(V044 + V046 + V048) / (V044 + V045 + V046 + V047 + V048 + V049)].$$

4.2.2.10. Pavimentação das Vias

Utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V014:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe Pavimentação.
- **V015:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não Existe Pavimentação.
- **V016:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe Pavimentação.
- **V017:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não Existe Pavimentação.
- **V018:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe Pavimentação.
- **V019:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não Existe Pavimentação.

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com as vias do entorno pavimentadas, foi realizada a seguinte operação: $[(V014 + V016 + V018) / (V014 + V015 + V016 + V017 + V018 + V019)]$.

4.2.2.11. Iluminação Pública

Utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V014:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe Iluminação Pública.
- **V015:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não Existe Iluminação Pública.
- **V016:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe Iluminação Pública.

- **V017:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não Existe Iluminação Pública.
- **V018:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe Iluminação Pública.
- **V019:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não Existe Iluminação Pública.

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com iluminação pública no entorno, foi realizada a seguinte operação: $[(V014 + V016 + V018) / (V014 + V015 + V016 + V017 + V018 + V019)]$.

4.2.2.12. Bueiro e Boca de Lobo

Utilizando como fonte de dados o *Arquivo Entorno 01*, as seguintes variáveis foram levantadas:

- **V032:** Domicílios particulares permanentes próprios – Existe bueiro/boca-de-lobo.
- **V033:** Domicílios particulares permanentes próprios – Não Existe bueiro/boca-de-lobo.
- **V034:** Domicílios particulares permanentes alugados – Existe bueiro/boca-de-lobo.
- **V035:** Domicílios particulares permanentes alugados – Não Existe bueiro/boca-de-lobo.
- **V036:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe bueiro/boca-de-lobo.
- **V037:** Domicílios particulares permanentes cedidos – Não Existe bueiro/boca-de-lobo.

Para normalizar estes dados, a fim de obter uma razão da quantidade de domicílios de cada setor censitário com bueiro e boca de lobo no entorno, foi realizada a seguinte operação: $[(V032 + V034 + V036) / (V032 + V033 + V034 + V035 + V036 + V037)]$.

A operacionalização da coleta dos dados de cada uma das variáveis socioeconômicas se deu por meio de um complemento integrado ao QGIS,

denominado “Plugin Censo IBGE”, a partir do qual procedeu-se a busca e vinculação das variáveis de interesse aos polígonos georreferenciados de cada setor censitário.

Uma vez que as informações relativas a cada variável são obtidas separadamente, um procedimento padrão foi estabelecido, a fim de normalizar a coleta de dados. O procedimento foi realizado de maneira individualizada para cada uma das variáveis socioeconômicas.

Selecionava-se o município de interesse, integral ou parcialmente contido na bacia do Corumbataí, em seguida selecionava-se as variáveis do IBGE (V001, V002, e etc.) que compunham a variável socioeconômica de interesse, estabelecia-se as operações a serem realizadas entre elas para se atingir o índice de adequabilidade, e por fim, adicionava-se os setores censitários deste município ao projeto.

Este processo era então repetido para cada um dos municípios pesquisados, visando completar um mosaico da bacia do Corumbataí, acerca da variável em questão. Na sequência, utilizava-se ferramentas de gerenciamento de dados vetoriais para mesclar os setores censitários dos diferentes municípios e, em seguida, para recortar o *shapefile* resultante conforme os limites da bacia do Corumbataí.

Todo o procedimento acima descrito foi então repetido para cada uma das 12 variáveis socioeconômicas que compõem o presente projeto.

4.3. Organização e Tratamento de Dados

A etapa de organização e tratamento dos dados foi estruturada em três fases sequenciais: 1 – Elaboração de Mapas das Variáveis; 2 – Planilhas do Excel para Cálculo da AHP; 3 – Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP.

As fases de organização e tratamento de dados foram realizadas com o uso de dois softwares. Para os cálculos de matrizes da AHP fez-se uso de planilhas do Microsoft Excel, e para o trabalho com os arquivos que contém informações espaciais utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS v3.28 *Firenze*, gratuito.

Os softwares foram integralmente utilizados em computador pessoal, com capacidade de processamento suficiente para os cálculos necessários à álgebra de mapas e à renderização das imagens no QGIS.

4.3.1. *Elaboração de Mapas das Variáveis*

O primeiro procedimento adotado após a inclusão de todas as variáveis no projeto, foi a criação de mapas temáticos que representassem a distribuição espacial de cada uma delas.

Para fins de padronização da representação, as variáveis de cunho socioeconômico foram classificadas em 5 classes, conforme a proporção de domicílios no setor censitário considerados adequados para a referida variável, a saber: 0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% e 80-100%.

Nesta etapa do trabalho, notou-se a necessidade de dividir as variáveis socioeconômicas em dois grupos, sendo um deles de abrangência regional, englobando toda a bacia do Corumbataí, e o segundo de abrangência local, abrangendo apenas as zonas urbanas. Esta divisão foi necessária, sobretudo, pois algumas das variáveis perdem seu significado quando avaliadas no contexto rural.

Deste modo, as seguintes variáveis foram consideradas como de abrangência regional: pedologia, uso e ocupação do solo, declividade, abastecimento de água, coleta de lixo, energia elétrica, coleta e tratamento de esgoto, e renda. por outro lado, as variáveis a seguir foram consideradas apenas no contexto urbano: condições da moradia, iluminação pública, pavimentação das vias, bueiro e boca de lobo, arborização, esgoto a céu aberto, e lixo acumulado.

Para a melhor visualização dos dados, ao tratar-se da situação urbana, optou-se pela apresentação dos resultados obtidos apenas nos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes, onde se concentra a maior densidade de setores censitários urbanos integralmente presentes na área da bacia do Corumbataí.

4.3.1.1. Conversão dos Mapas em Raster

Todos os mapas produzidos no tópico anterior foram elaborados em formato vetorial, ou seja, produzidos através de arquivos do tipo *shapefile*, os quais contém

polígonos georreferenciados com informações armazenadas em uma tabela de atributos.

Entretanto, a fim de que estes pudessem ser utilizados para a produção de novas informações por meio da sobreposição de mapas ponderada com a técnica AHP, fez-se necessário convertê-los em formato *Raster*.

Arquivos *Raster* consistem em imagens no formato *.tif*, nas quais cada *pixel* possui uma informação espacial, referente a sua localização no mapa, e uma informação absoluta, referente ao valor da variável para aquele *pixel*.

Operacionalmente, a conversão se deu por meio de ferramentas de conversão de vetor em *Raster* no QGIS. Optou-se por *grids* de 10 mil *pixels* por 10 mil *pixels*, considerados um valor interessante de custo-benefício entre o nível de detalhe das imagens e o tempo necessário para completar a tarefa conforme a capacidade computacional do equipamento utilizado e o tamanho dos arquivos gerados.

Nesta etapa do trabalho, variáveis cujos valores absolutos não se encontravam entre 0 e 1 foram normalizadas utilizando a calculadora *Raster*, a fim de que pudessem ser corretamente utilizadas nas etapas subsequentes.

Como resultado desta etapa, foram gerados mapas em formato *Raster*, para cada variável do estudo em escala local e regional, nos quais cada *pixel* apresentava um valor entre 0 e 1, conforme a distribuição espacial da intensidade de sua variável.

4.3.2. Planilhas do Excel para Cálculo da AHP

No presente trabalho, deve-se ter em consideração que as variáveis possuem contribuições diferentes na construção de cada resultado.

Por exemplo, ao se tratar da infraestrutura urbana de serviços prestados ao cidadão, entende-se ser necessário atribuir uma importância maior ao abastecimento de água do que à iluminação pública. Por outro lado, ao se tratar da qualidade do entorno das residências, atribui-se relevância maior à iluminação pública do que à pavimentação das vias.

Apesar de todas as variáveis serem relevantes, a contribuição de cada uma varia conforme o objetivo do mapa que se pretende gerar. Deste modo, para cada procedimento de sobreposição de mapas, é necessário conferir pesos diferentes às variáveis, que reflitam a importância relativa de cada uma delas na criação dos mapas gerados por sobreposição.

O processo de atribuição de pesos às variáveis é intrinsecamente subjetivo, entretanto, o emprego da técnica AHP permite reduzir essa subjetividade, bem como avaliar a consistência dos pesos atribuídos.

Uma vez que as matrizes envolvidas na AHP se tornam mais complexas conforme o número de variáveis aumenta, fez-se necessário o emprego de planilhas de apoio no Excel para que os cálculos fossem realizados.

As planilhas foram produzidas para 3, 5, 6, e 11 parâmetros, conforme a necessidade de cada mapa gerado. A Figura 05, apresentada a seguir, exemplifica uma das planilhas elaboradas para o cálculo da AHP.

Vale ressaltar que antes da definição dos pesos entre as variáveis, também se utilizou a técnica AHP para definir a ordem de prioridades das subcategorias da pedologia e do uso e ocupação do solo. Por exemplo, ao se tratar da pedologia, solos com maior susceptibilidade à erosão devem ser associados a valores mais baixos do que solos que sofrem menos com este tipo de fenômeno.

Figura 05 – Exemplo de Planilha de Cálculo da AHP para 11 variáveis.

Matriz Recíproca												Número de variáveis	
	Mata Nativa	Reflorestamento	Área Agrícola	Pastagem	Mineração	Indústria	Loteamento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Superfícies Artificiais	11	
Mata Nativa	1/1	1/2	1/4	1/5	1/7	2/1	1/6	1/3	1/7	1/3	2/1		
Reflorestamento	2/1	1/1	1/4	1/5	1/8	3/1	1/6	1/4	1/8	1/2	3/1		
Área Agrícola	4/1	4	1/1	1/3	1/4	5/1	1/5	1/1	1/4	3/1	5/1		
Pastagem	5/1	5/1	3/1	1/1	1/3	7/1	1/2	3/1	1/3	4/1	7/1		
Mineração	7/1	8/1	4/1	3/1	1/1	9/1	3/1	4/1	1/1	5/1	8/1		
Indústria	1/2	1/3	1/5	1/7	1/9	1/1	1/7	1/6	1/9	1/4	1/1		
Loteamento	6/1	6/1	5/1	2/1	1/3	7/1	1/1	4/1	1/2	5/1	7/1		
Aterro	3/1	4/1	1/1	1/3	1/4	6/1	1/4	1/1	1/4	2/1	2/1		
Solo Exposto	7/1	8/1	4/1	3/1	1/1	9/1	2/1	4/1	1/1	6/1	9/1		
Corpo d'água	3/1	2/1	1/3	1/4	1/5	4/1	1/5	1/2	1/6	1/1	4/1		
Superfícies Artificiais	1/2	1/3	1/5	1/7	1/8	1/1	1/7	1/2	1/9	1/4	1/1		
SOMA	39,00	39,17	19,23	10,60	3,87	54,00	7,77	18,75	3,99	27,33	49,00		

Matriz Ponderada													
	Mata Nativa	Reflorestamento	Área Agrícola	Pastagem	Mineração	Indústria	Loteamento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Superfícies Artificiais	PESOS Normalizados (Vetor W)	
Mata Nativa	0,02564	0,01277	0,01300	0,01886	0,03691	0,03704	0,02145	0,01778	0,03580	0,01220	0,04082	0,02475	Mata Nativa
Reflorestamento	0,05128	0,02553	0,01300	0,01886	0,03229	0,05556	0,02145	0,01333	0,03133	0,01829	0,06122	0,03111	Reflorestamento
Área Agrícola	0,10256	0,10213	0,05199	0,03144	0,06459	0,09259	0,02574	0,05333	0,06266	0,10976	0,10204	0,07262	Área Agrícola
Pastagem	0,12821	0,12766	0,15598	0,09432	0,08612	0,12963	0,06436	0,16000	0,08354	0,14634	0,14286	0,11991	Pastagem
Mineração	0,17949	0,20426	0,20797	0,28296	0,25836	0,16667	0,38615	0,21333	0,25062	0,18293	0,16327	0,22691	Mineração
Indústria	0,01282	0,00851	0,01040	0,01347	0,02871	0,01852	0,01839	0,00889	0,02785	0,00915	0,02041	0,0161	Indústria
Loteamento	0,15385	0,15319	0,25997	0,18864	0,08612	0,12963	0,12872	0,21333	0,12531	0,18293	0,14286	0,16041	Loteamento
Aterro	0,07692	0,10213	0,05199	0,03144	0,06459	0,11111	0,03218	0,05333	0,06266	0,07317	0,04082	0,06367	Aterro
Solo Exposto	0,17949	0,20426	0,20797	0,28296	0,25836	0,16667	0,25743	0,21333	0,25062	0,21951	0,18367	0,22039	Solo Exposto
Corpo d'água	0,07692	0,05106	0,01733	0,02358	0,05167	0,07407	0,02574	0,02667	0,04177	0,03659	0,08163	0,04609	Corpo d'água
Superfícies Artificiais	0,01282	0,00851	0,01040	0,01347	0,03229	0,01852	0,01839	0,02667	0,02785	0,00915	0,02041	0,01804	Superfícies Artificiais

(Vetor λ)	0,27795
	0,34679
	0,85259
	1,46074
	2,77523
	0,18329
	2,00845
	0,75174
	2,67896
	0,51935
	0,20767
	λ _{max} = 12,06275

Teste do Índice de Confiança	
Vetor Y (λ / W)	11,2299294
	11,14883185
	11,74021985
	12,18201783
	12,23066221
	11,38416109
	12,52057498
	11,80731117
	12,15566784
	11,2669347
	11,50950802

Tabela de Consistência	
Número de variáveis	ICR
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51

Índice de Consistência (IC):	0,10628
RC = IC/ICR	0,070381043 deve ser menor que 0,1!
Resultado:	Valores Consistentes!

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3. Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP

Uma vez preparados os mapas das variáveis em formato *Raster*, e elaboradas as planilhas de ponderação de seus pesos por meio da técnica AHP, procedeu-se ao cruzamento destas informações, visando a produção de novos mapas temáticos.

As imagens *Raster* geradas possuem exatamente o mesmo tamanho, posição geográfica e quantidade de pixels, de modo que é possível realizar cálculos algébricos entre os valores absolutos de seus pixels, a fim de produzir novos mapas temáticos cujos valores dos *pixels* representem o cruzamento de suas informações.

Abaixo, apresenta-se um exemplo esquemático simplificado deste tipo de cálculo em *grids* simples de apenas quatro pixels (2x2), nos quais os dois primeiros representam mapas das variáveis em formato *Raster*, enquanto o último representa o mapa produzido através da multiplicação dos valores contidos nos mapas originais:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 2 \\ \hline 3 & 4 \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 1 \\ \hline 1 & 2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 2 \\ \hline 3 & 8 \\ \hline \end{array}$$

Vale destacar que no exemplo acima foi realizada apenas a multiplicação de dois mapas com pesos iguais. Durante os trabalhos, notou-se que a operação de multiplicação dos mapas não era matematicamente adequada para este procedimento por gerar diversos problemas, sendo o mais evidente deles os casos em que havia variáveis com valor zero para determinados *pixels*. Nestas circunstâncias, independente dos valores das demais variáveis, o *pixel* resultante sempre teria valor zero.

Desta forma, realizados alguns testes, decidiu-se que a melhor operação algébrica para a sobreposição de mapas seria a média ponderada dos valores dos mapas iniciais utilizando os pesos obtidos na AHP para cada uma das variáveis.

Esta etapa foi operacionalizada por meio da ferramenta calculadora *Raster*, a qual permite realizar operações de álgebra de mapas, utilizando os valores e as posições de seus *pixels*.

A seguir, apresenta-se um exemplo de operação utilizada, a qual serviu na elaboração do mapa de infraestrutura de serviços urbanos. Esta operação realiza, *pixel a pixel*, a média ponderada das seis variáveis utilizadas, considerando os pesos relativos de cada uma, obtidos por meio da planilha de cálculo da AHP, semelhante à apresentada na Figura 05, onde os pesos são representados pelo Vetor W.

"Abastecimento_de_agua@1"*0.07883+"Destinacao_Esgoto_Urbano@1"*0.04994+"Coleta_de_Lixo@1"*0.03517+"Energia_Eletrica@1"*0.08228+"Renda@1"*0.43876+"Moradia@1"*0.31502

Na sequência, foram estabelecidas categorias para cada um dos mapas gerados, com significados diferentes para cada caso. Para o exemplo em discussão, acerca da infraestrutura urbana, cinco categorias foram definidas: Muito ruim, Inadequado, Razoável, Satisfatório, e Excelente. A quantidade de categorias, bem como seu significado pode ser alterada conforme o objetivo de cada mapa gerado.

Neste contexto, vale ressaltar que o método de sobreposição de mapas permite a criação de inúmeros produtos, bastando que se alterem as variáveis utilizadas e os pesos conferidos a cada uma, de acordo com as necessidades do pesquisador.

No presente trabalho, optou-se pela produção de seis mapas temáticos, sendo três em escala regional, e três em escala local, apresentados a seguir.

- **Mapa de Serviços Públicos Básicos:**
 - **Objetivo:** Avaliar a cobertura de atendimento de serviços básicos essenciais e de infraestrutura à população.
 - **Variáveis:** Abastecimento de água, coleta de esgoto, energia elétrica, coleta de lixo, pavimentação, e iluminação pública.

- **Mapa da Qualidade do Entorno no Meio Ambiente Urbano:**
 - **Objetivo:** Avaliar as condições do entorno das moradias, das questões ambientais e paisagísticas da zona urbana.
 - **Variáveis:** Pavimentação, iluminação pública, lixo acumulado, esgoto a céu aberto, e arborização.

- **Mapa de Qualidade de Vida Urbana:**
 - **Objetivo:** Avaliar a condição de moradia, renda, e de serviços recebidos pela população.
 - **Variáveis:** Renda, moradia, abastecimento de água, coleta de esgoto, coleta de lixo e energia elétrica.

- **Mapa da Qualidade de Vida Rural:**
 - **Objetivo:** Avaliar as condições socioeconômicas em escala regional, abrangendo toda a sub bacia, com ênfase em sua zona rural.
 - **Variáveis:** Abastecimento de água, destinação do esgoto, energia elétrica, destinação do lixo e renda

- **Mapa de Potencial de Impacto de Atividades Socioeconômicas:**
 - **Objetivo:** Avaliar a distribuição espacial de modalidades de uso e ocupação do solo, agrupadas conforme seu potencial de impacto ambiental, em escala regional, abrangendo toda a sub bacia.
 - **Variáveis:** Foram utilizadas as 11 categorias de uso e ocupação do solo previamente estabelecidas.

- **Mapa de Susceptibilidade à Erosão:**
 - **Objetivo:** Avaliar a susceptibilidade a processos erosivos em escala regional.
 - **Variáveis:** Declividade, pedologia e uso e ocupação do solo.

4.4. Interpretação de Dados

A etapa de interpretação de dados foi subdividida em duas etapas distintas, sendo elas: 1 – Interpretação da distribuição espacial das variáveis do estudo e 2 – Interpretação dos resultados da Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP.

4.4.1. Análise da Distribuição Espacial das Variáveis do Estudo

Durante a primeira etapa buscou-se compreender a distribuição espacial das variáveis. A fim de facilitar a interpretação dos dados organizados, dividiu-se a análise de variáveis regionais da análise de variáveis urbanas.

4.4.1.1. Variáveis Locais

Em relação às variáveis locais, examinou-se os setores censitários com melhores e piores resultados para cada caso. Na sequência comparou-se os resultados obtidos com as demais variáveis, a fim de encontrar eventuais correlações entre elas.

Por exemplo, avaliou-se a existência de discrepâncias no fornecimento de diferentes serviços básicos nas regiões das cidades, e se havia alguma relação com outras variáveis, como a distribuição de renda ou a condição das moradias.

Mapas de fornecimentos de serviços, como o de coleta de lixo e o de destinação do esgoto, também puderam ser comparados com mapas do entorno, como o lixo acumulado e o esgoto a céu aberto, a fim de verificar os impactos que o serviço possui no meio ambiente urbano.

4.4.1.2. Variáveis Regionais

No que diz respeito às variáveis regionais, foram realizadas análises acerca das diferentes categorias pedológicas encontradas na área de estudo.

Também se analisou a distribuição das diferentes atividades de uso e ocupação do solo na área da bacia do Corumbataí, observando quais eram as mais comuns, e o modo como estas se organizavam na área da bacia.

Uma vez produzido o mapa de declividades, buscou-se avaliar sua coerência com o mapa hipsométrico que lhe deu origem. Também se avaliou a proporção de área englobada em cada categoria de declividade descrita.

4.4.2. Análise da Sobreposição de Mapas Ponderada pela AHP

Nesta etapa de interpretação de resultados buscou-se entender a contribuição de cada variável e de seu respectivo peso na construção dos resultados obtidos. Observaram-se as regiões com as melhores e piores categorias, e foram traçadas correlações entre os resultados obtidos e as variáveis que os compuseram.

Com o conhecimento prévio da área de estudo, foram feitas ponderações sobre a validade dos mapas e a acurácia na representação da realidade do local, à época do levantamento dos dados.

No que diz respeito à AHP, foram observados o índice de consistência e a razão de consistência das matrizes, a fim de avaliar se os pesos atribuídos eram consistentes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

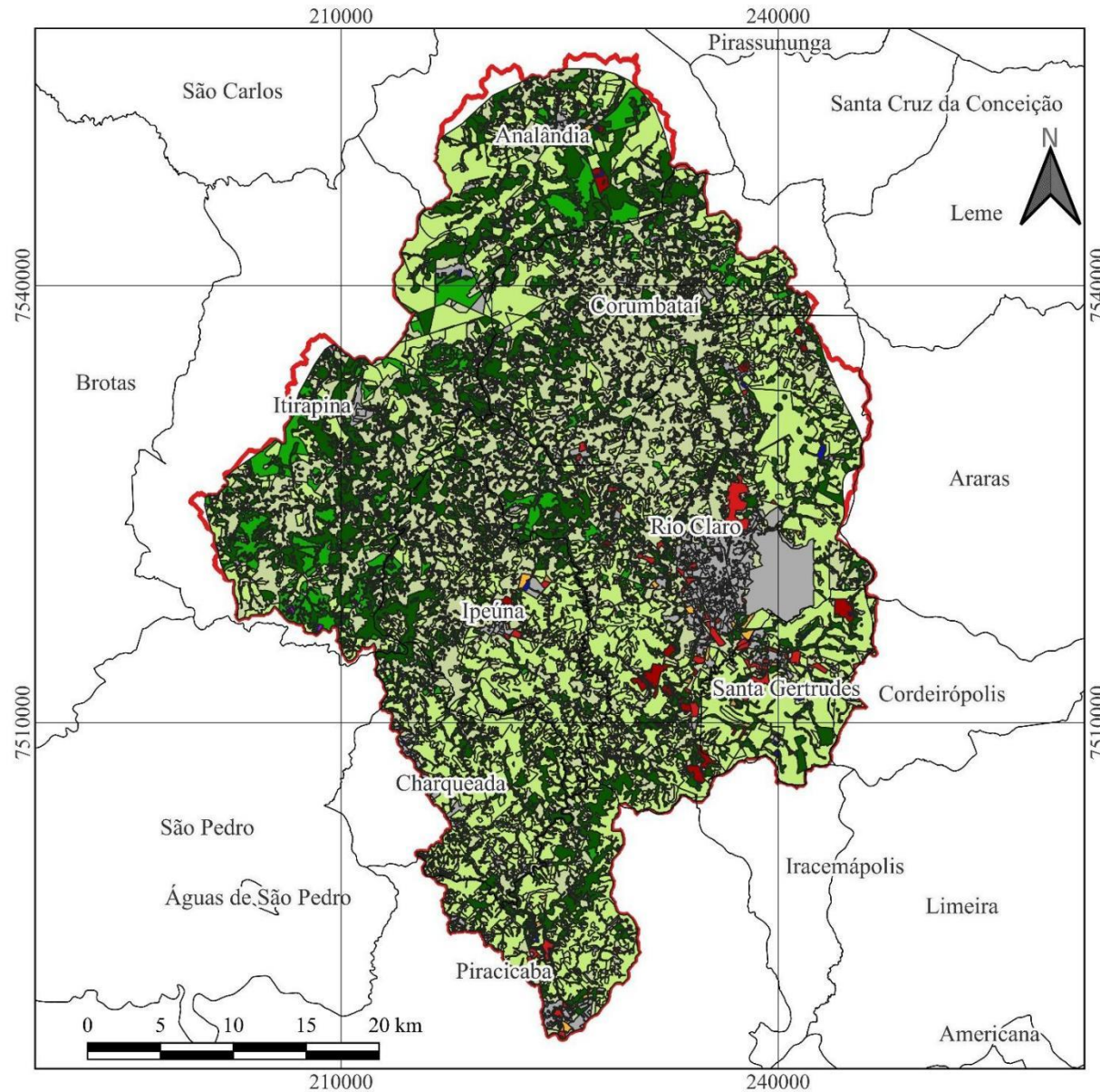
A organização dos diferentes dados levantados em uma única base georreferenciada permitiu observar padrões na distribuição espacial das variáveis. É interessante notar que com os dados organizados, algumas informações já podem ser obtidas, como as concentrações de renda, coberturas de atendimento de serviços básicos, usos do solo, entre outras. Ou seja, antes mesmo da realização da álgebra de mapas, alguns resultados já podem ser apresentados e discutidos.

Deste modo, a análise de resultados se divide em duas etapas, sendo a primeira relativa à apresentação e discussão da distribuição espacial das variáveis do projeto, e a segunda relacionada com os resultados obtidos a partir da sobreposição de mapas ponderada por meio da técnica AHP.

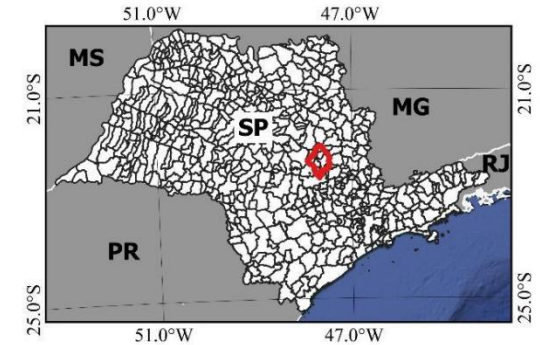
5.1. Distribuição Espacial das Variáveis

As Figuras 06 até 26, a seguir, apresentam os mapas temáticos produzidos para cada uma das 15 variáveis pesquisadas no presente trabalho. Algumas das variáveis apresentam dois mapas, um em escala regional, englobando toda a Bacia do Corumbataí, e outro em escala local, abrangendo apenas a zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Figura 07 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Corumbataí.



Uso e Ocupação do Solo Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

- | | |
|---|---|
| Mata Nativa | Indústria |
| Reflorestamento | Loteamento |
| Áreas Agrícolas | Aterro |
| Pastagem | Solo Exposto |
| Mineração | Corpo d'Água |
| | Superfícies Artificiais |

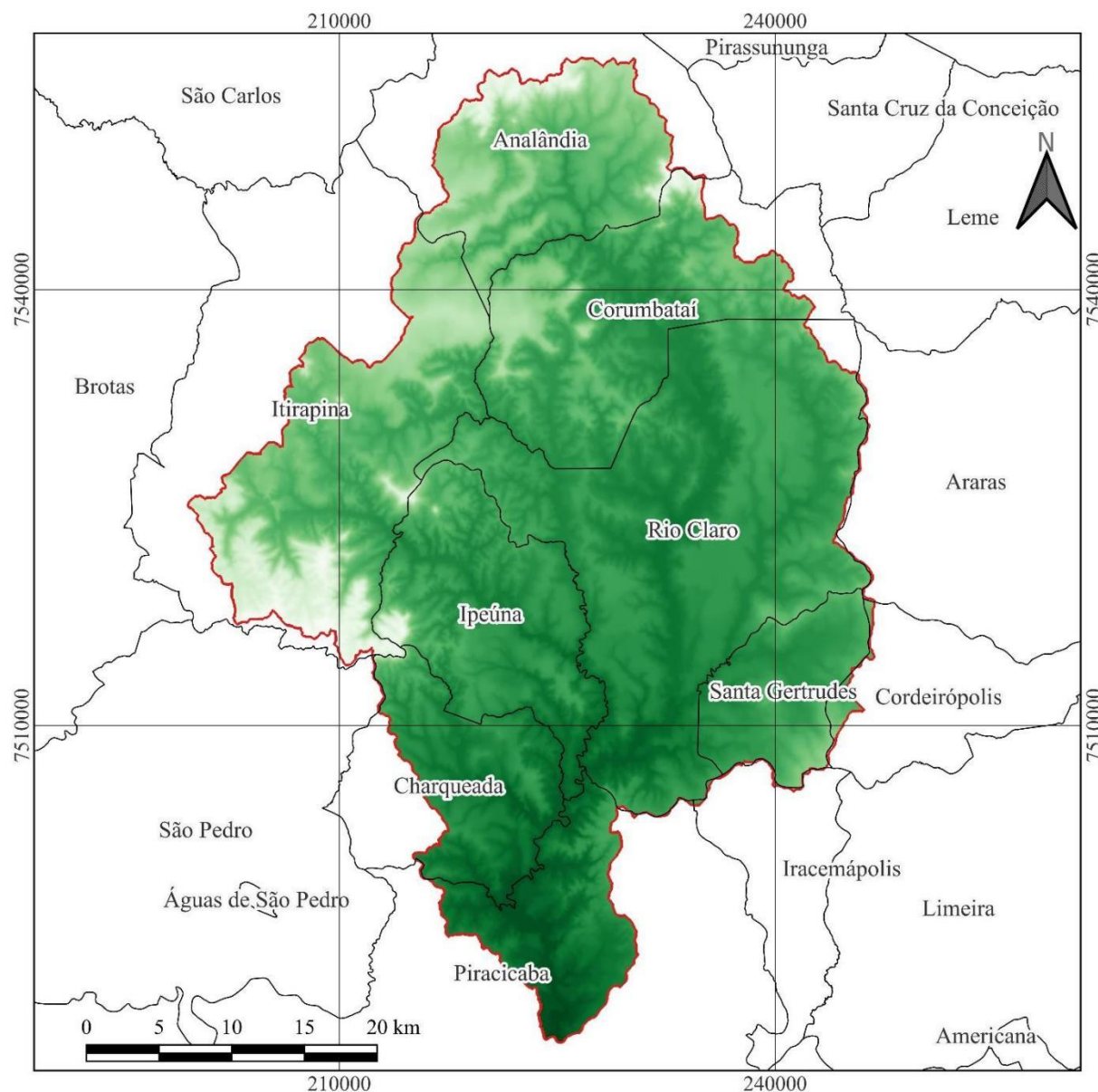
unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

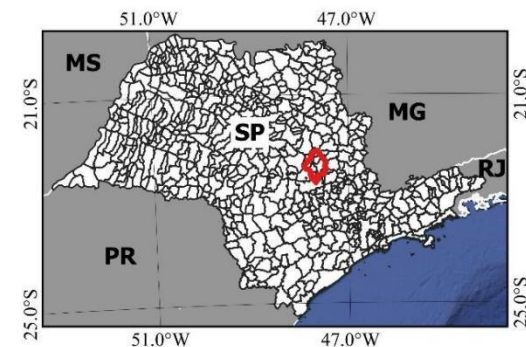
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente, 2013.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

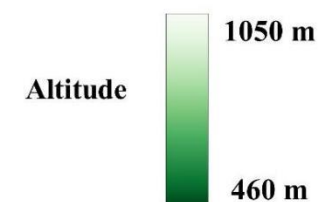
Figura 08 – Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Corumbataí.



Mapa Hipsométrico Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

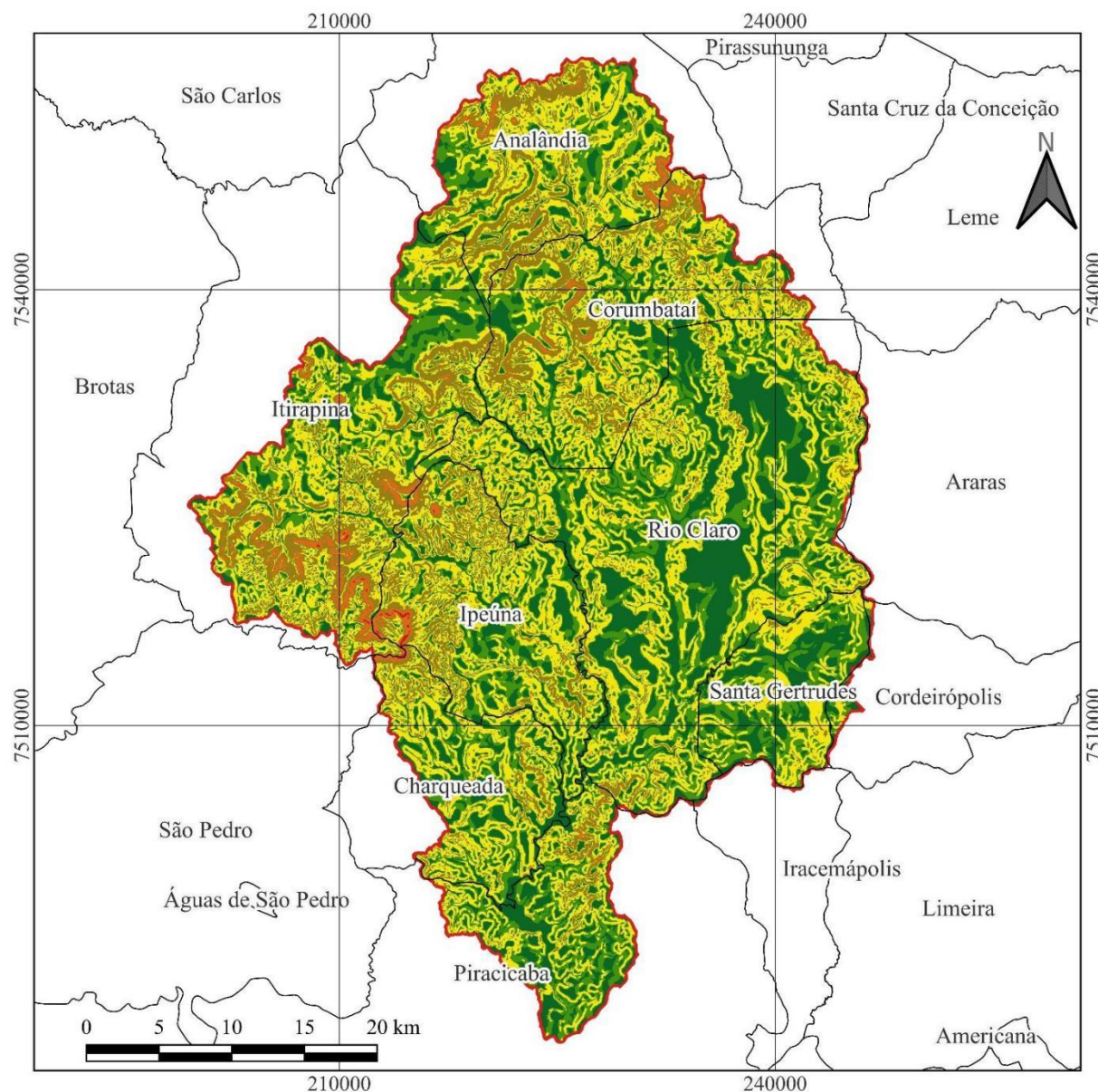


unesp

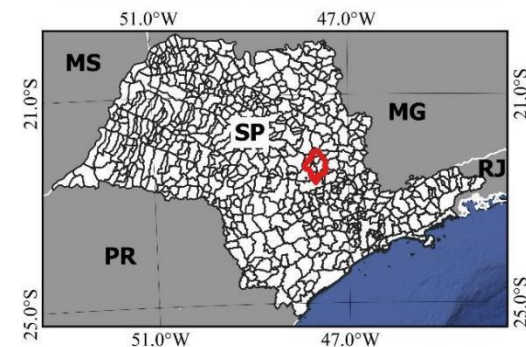
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente, 2023.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 09 – Mapa de Declividade da Bacia do Rio Corumbataí.



Mapa de Declividade Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

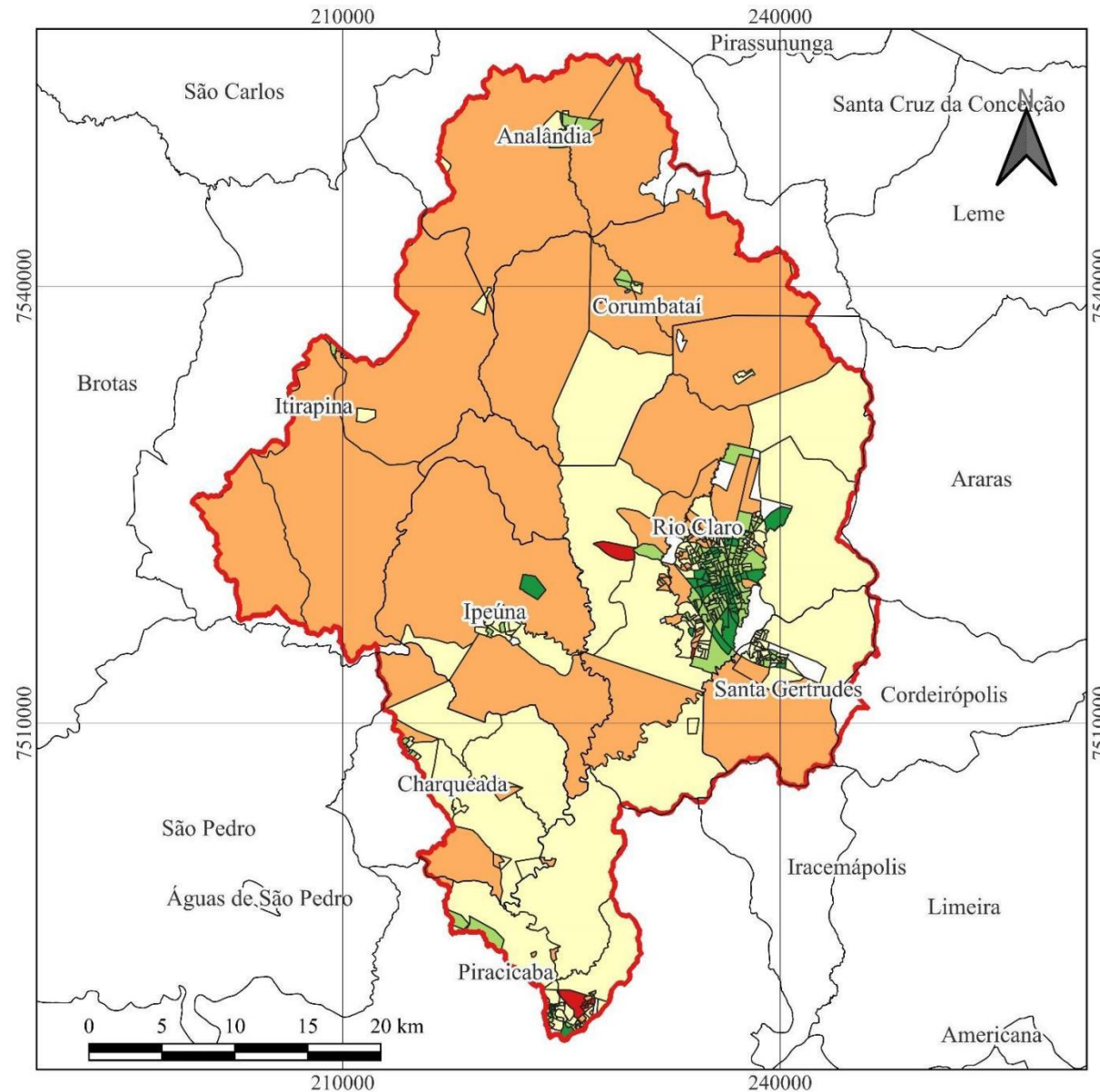
- Suave (0-3%)
- Suave Ondulado (3-8%)
- Ondulado (8-20%)
- Forte Ondulado (20-45%)
- Montanhoso (45-75%)
- Escarpado (acima de 75%)

unesp

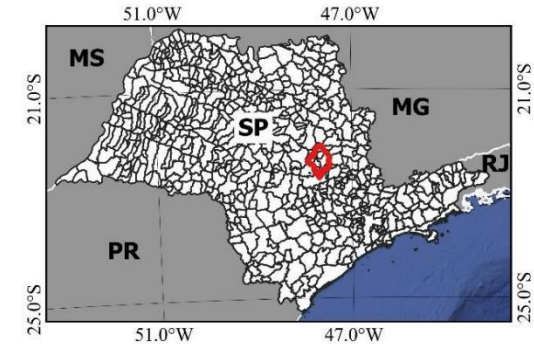
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente, 2023.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 10 – Mapa da distribuição de renda na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.

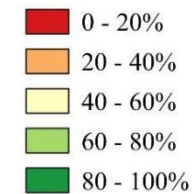


Distribuição de Renda Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Domicílios com renda maior que um
salário mínimo por morador

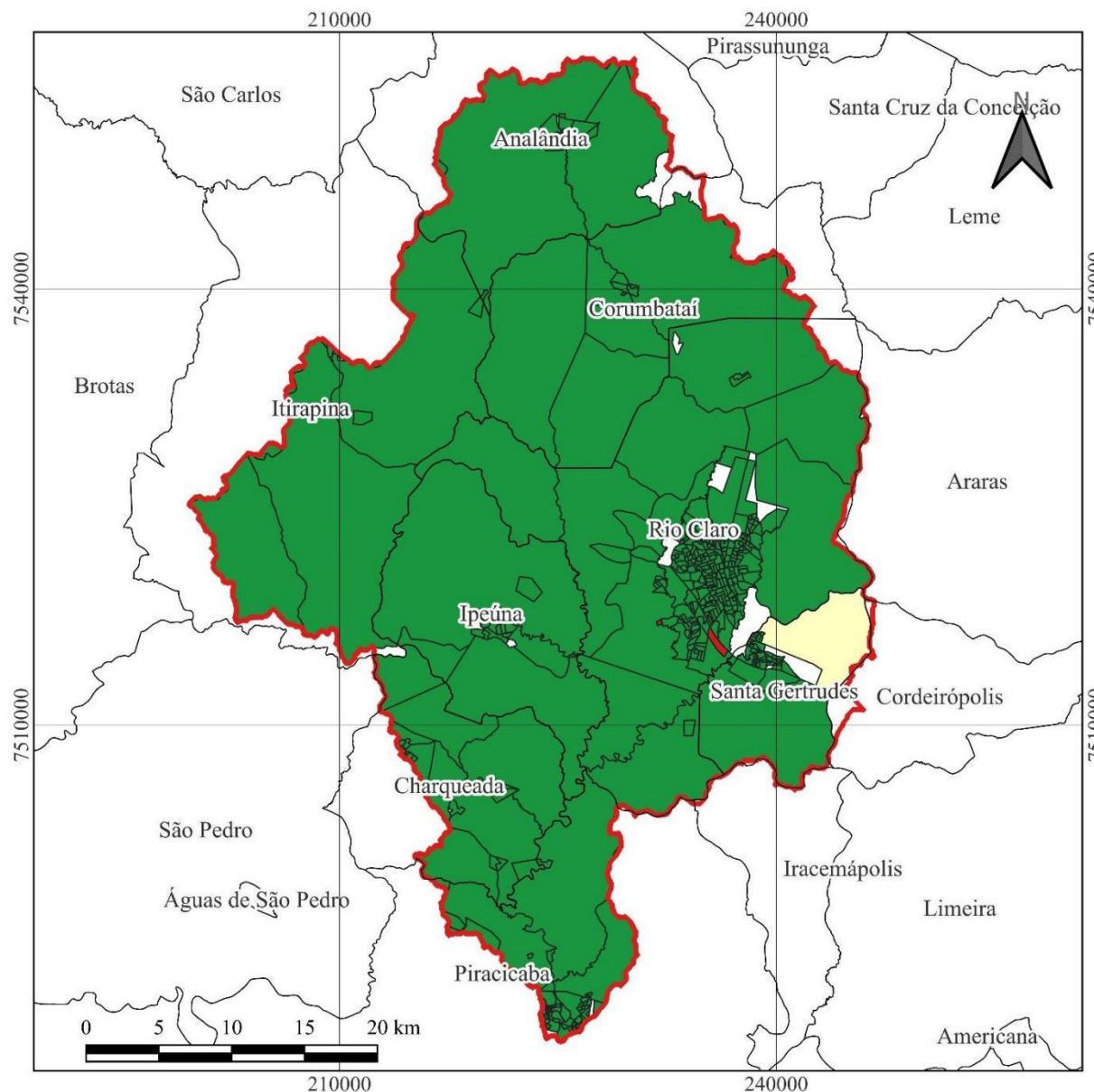


unesp

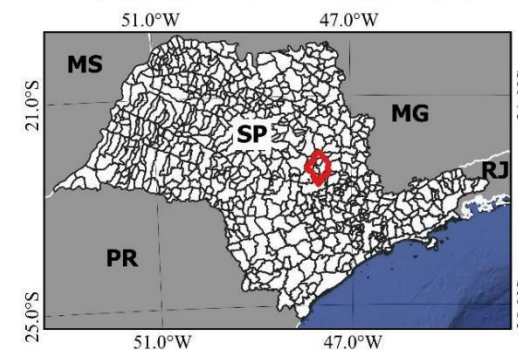
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 11 – Mapa do abastecimento de água na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.

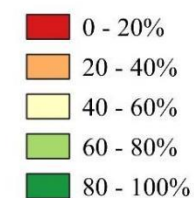


Abastecimento de Água Rural Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Domicílios com abastecimento de água considerado adequado para o meio rural

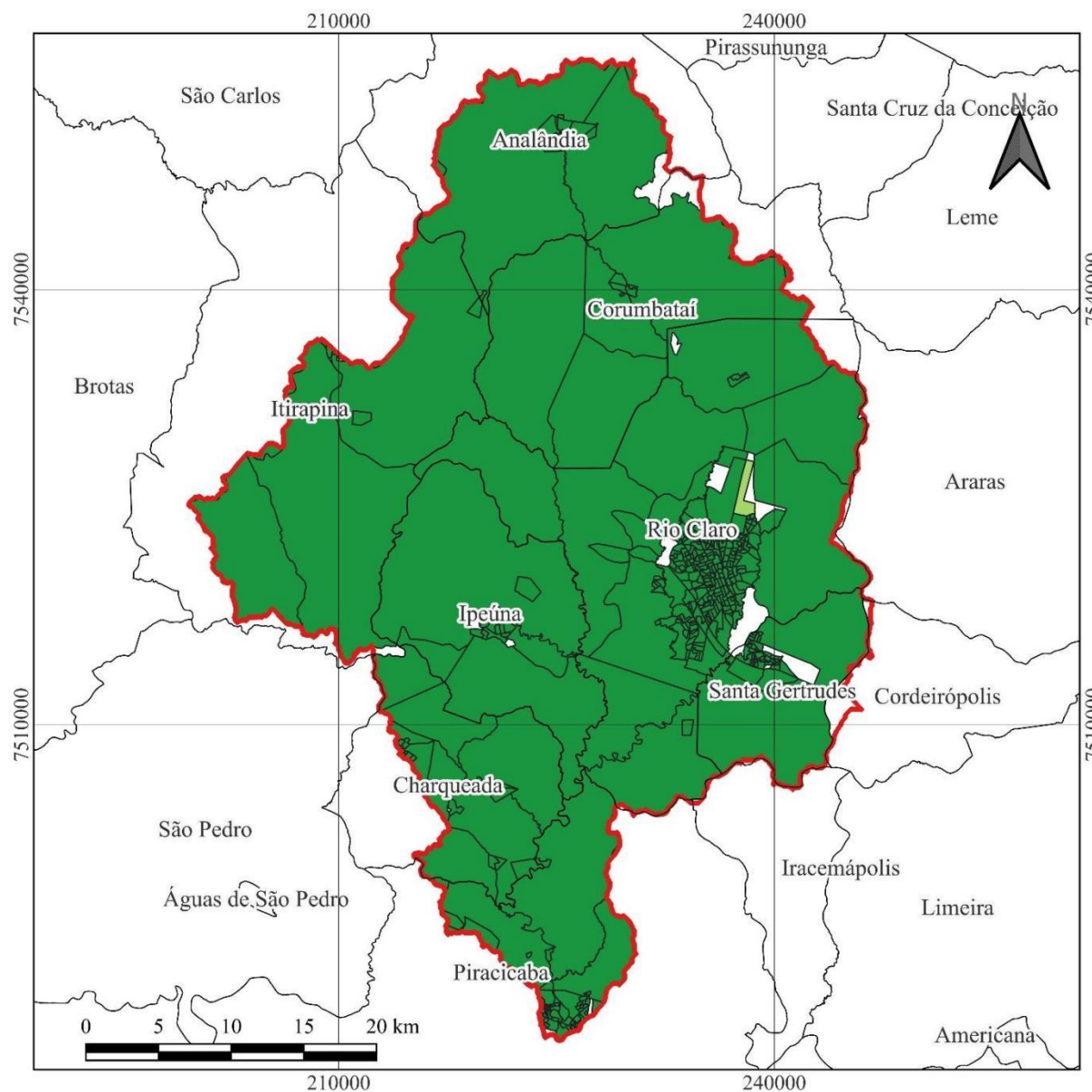


unesp

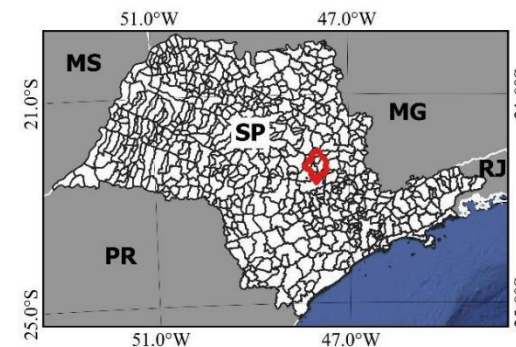
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 12 – Mapa da distribuição de energia elétrica na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.

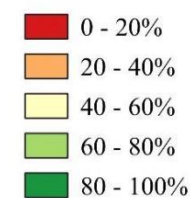


Energia Elétrica Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Domicílios com fornecimento de energia elétrica



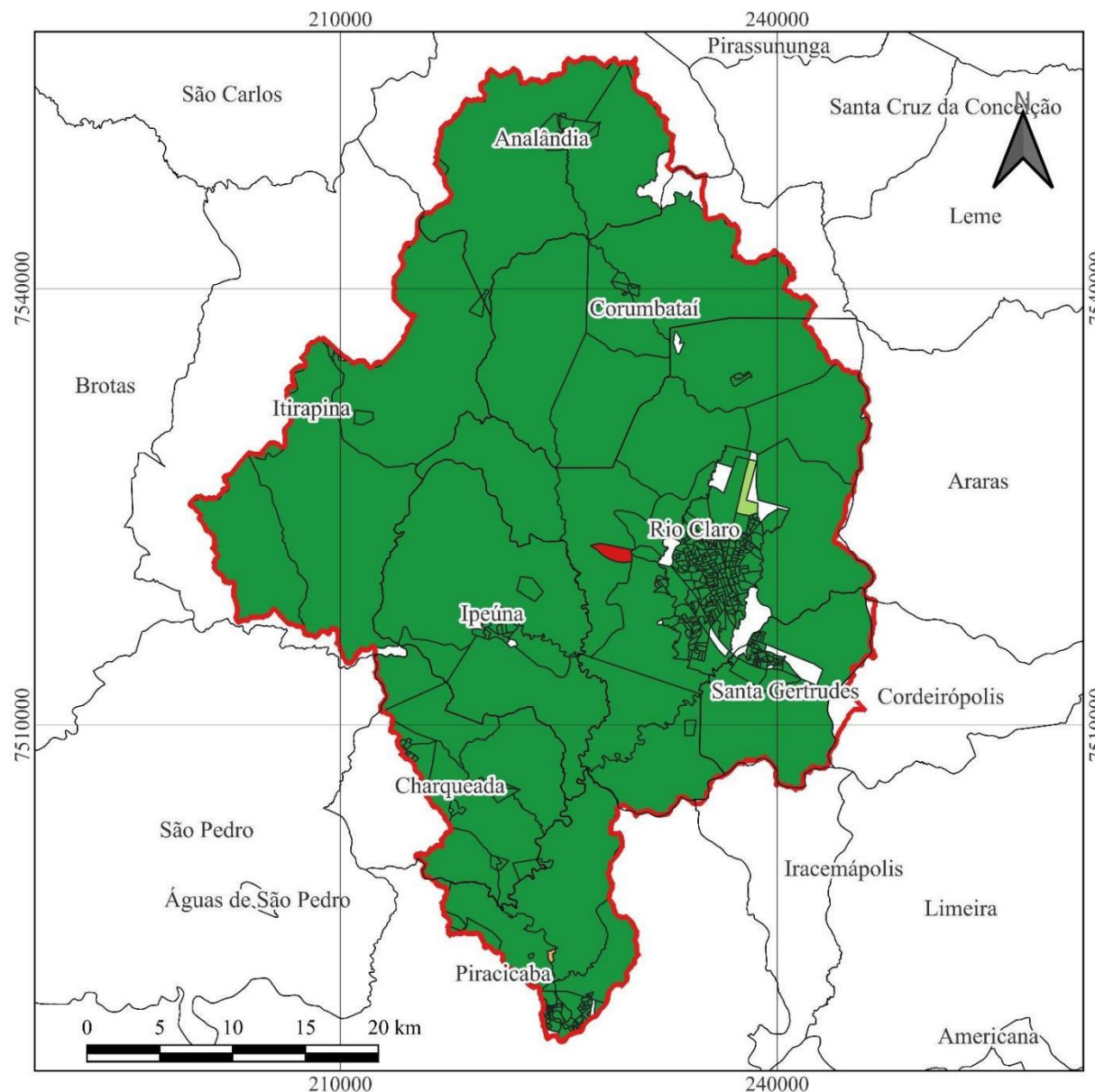
unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

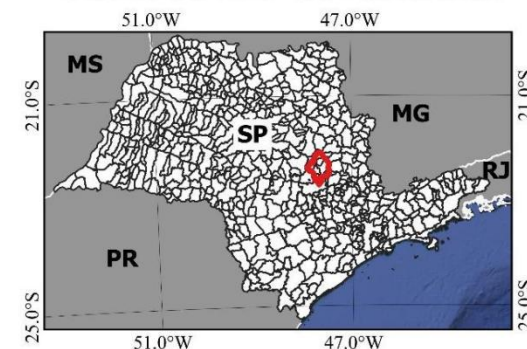
Fonte: IBGE, Censo 2010.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

The map displays the Metropolitan Region of Rio Claro, São Paulo, with 12 municipalities. The municipalities are color-coded: Analândia (orange), Corumbataí (green), Itirapina (green), Ipeúna (orange), Rio Claro (green), Santa Gertrudes (red), Charqueada (green), São Pedro (green), Águas de São Pedro (green), Piracicaba (green), Iracemápolis (green), and Limeira (green). The map includes a scale bar (0-20 km) and a north arrow.

Figura 14 – Mapa da destinação do esgoto na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.

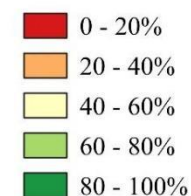


Destinação do Esgoto Rural Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Domicílios com destinação de esgoto considerada adequada para o meio rural



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.

Elaborado por André Corrêa de Toledo

Sistema de Coordenadas Planas

Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Uma vez concluídas as fases de coleta, organização e tratamento de dados, diversas informações podem ser observadas. A seguir são feitas algumas ponderações acerca dos mapas apresentados até o momento.

O mapa pedológico (Figura 06) demonstra que a área de estudo possui uma predominância de Argissolos, com regiões, sobretudo nas bordas da bacia, onde podem ser encontrados Latossolos.

No que diz respeito ao mapa de uso e ocupação do solo (Figura 07), destaca-se o uso predominantemente agrícola e pecuário da bacia. Existem ainda fragmentos relevantes de mata nativa e de reflorestamento, sobretudo em áreas de preservação permanente e de reserva legal das propriedades rurais.

Além das superfícies artificiais, como as manchas urbanas, destacam-se as regiões industriais no município de Rio Claro e as áreas de mineração, sobretudo de areia e argila, na região de Santa Gertrudes. A Tabela 09, a seguir, apresenta a área (em hectares) ocupada por cada tipo de atividade na bacia do Corumbataí.

Tabela 09 – Proporção de tipos de uso do solo na área de estudo.

Tipo de Uso	Área Total (ha)	Porcentagem
Áreas Agrícolas	72.729	39,27%
Pastagem	45.099	24,35%
Mata Nativa	43.488	23,48%
Superfícies Artificiais	10.358	5,59%
Reflorestamento	8.165	4,41%
Industria	1.660	0,90%
Mineração	933	0,50%
Loteamento	382	0,21%
Solo Exposto	244	0,13%
Outros	2.134	1,15%
Total	185.194,55	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados levantados permitiram subdividir os Argissolos e Latossolos em diferentes categorias, conforme sua textura (argilosa, média ou arenosa), o que se mostrou interessante para o presente trabalho, pois esta é uma característica fundamental na determinação de fatores importantes para a susceptibilidade à erosão.

No mapa Hipsométrico (Figura 08) é possível observar que o escoamento na bacia do Corumbataí segue uma tendência de norte a sul, com sua principal drenagem, o Rio Corumbataí, localizando-se levemente à leste de sua região central, e com tributários provenientes de ambas as margens, leste e oeste.

O mapa de declividade (Figura 09) demonstra que na área de estudo há uma predominância de relevos suaves e ondulados, ou seja, são proporcionalmente pequenas as regiões com grandes desníveis, que exigem um olhar mais atento do ponto de vista da fragilidade ambiental ou da susceptibilidade à erosão.

Em relação aos quesitos socioeconômicos da bacia, o primeiro aspecto que chama a atenção é a concentração de renda nas zonas urbanas da bacia, apresentada no mapa de renda regional (Figura 10), tendência conhecida desta região.

Em relação aos serviços, destaca-se que toda a zona rural se apresenta abastecida de água (Figura 11) e energia elétrica (Figura 12). Naturalmente, considerou-se como adequada para a zona rural todas as formas de abastecimento de água pesquisadas, sejam elas pela rede geral, por poço artesiano, por nascentes na propriedade, cisternas ou outras formas de abastecimento.

A destinação do lixo na zona rural (Figura 13) apresenta desempenho muito ruim ou inadequado em diversos setores. Isso se deve aos critérios adotados para esta variável, os quais foram iguais aos critérios para a zona urbana, sendo consideradas adequadas apenas as destinações de coleta de resíduos tradicionais, e inadequadas destinações como queimar, enterrar, jogar em terreno baldio, em rio, lago ou outro corpo d'água.

Por outro lado, observa-se que toda a bacia apresenta destinações consideradas adequadas para o esgoto rural (Figura 14). Entretanto, isto se deve ao fato de que neste caso foram alterados os critérios do que se considera adequado na zona rural em relação à zona urbana. Foram consideradas adequadas, além da coleta pela rede geral, destinações em fossas sépticas ou fossas rudimentares, e inadequados os descartes diretos em rios, lagos, ou outros corpos d'água.

A diferença nos critérios utilizados na coleta de lixo e destinação do esgoto é proposital e tem a finalidade de ilustrar o impacto dos critérios adotados pelo pesquisador, mais ou menos rigorosos, no resultado dos mapas gerados.

A seguir, são apresentados os mapas referentes às zonas urbanas.

Figura 15 – Mapa do abastecimento de água na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

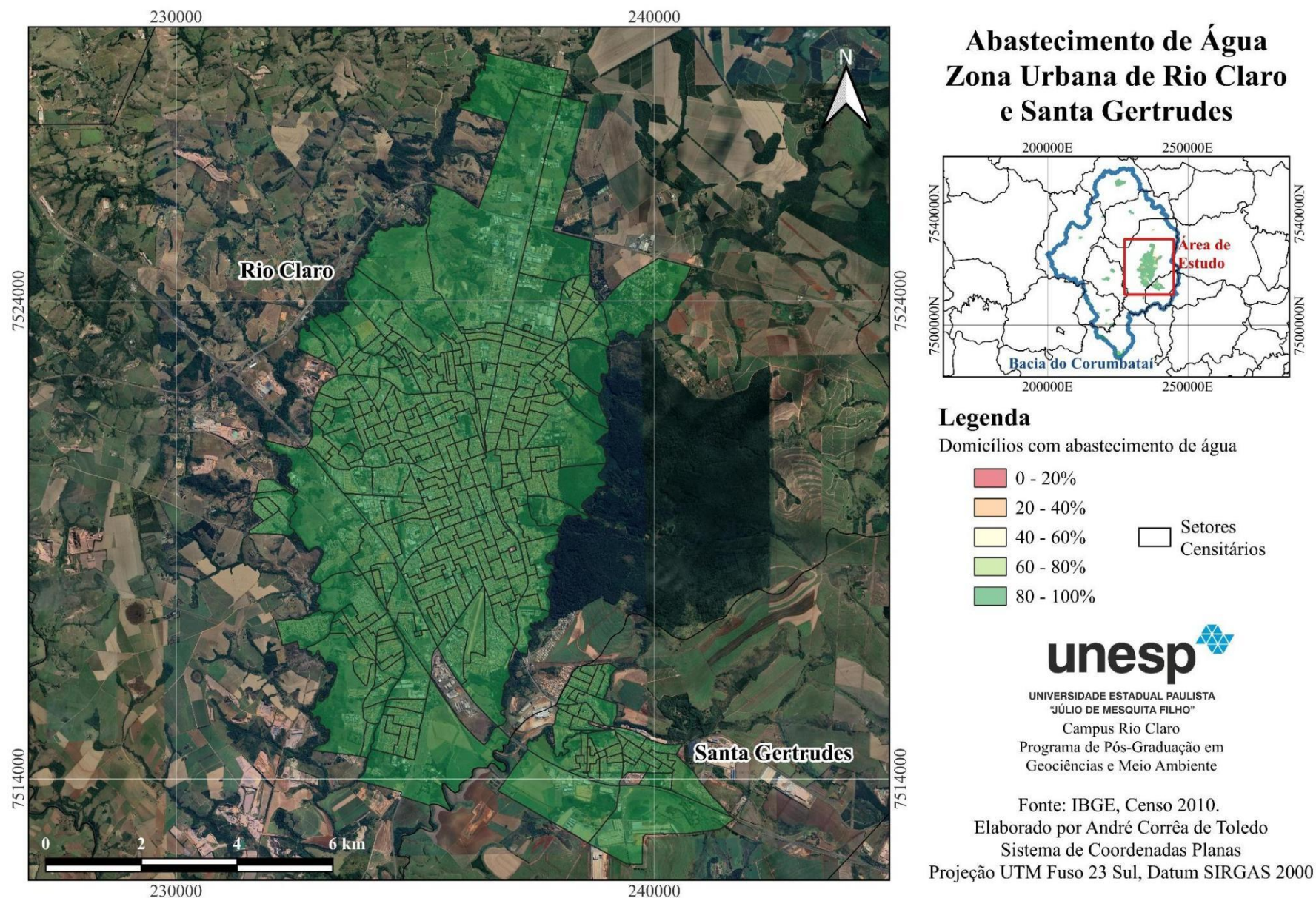


Figura 16 – Mapa da distribuição de energia elétrica na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

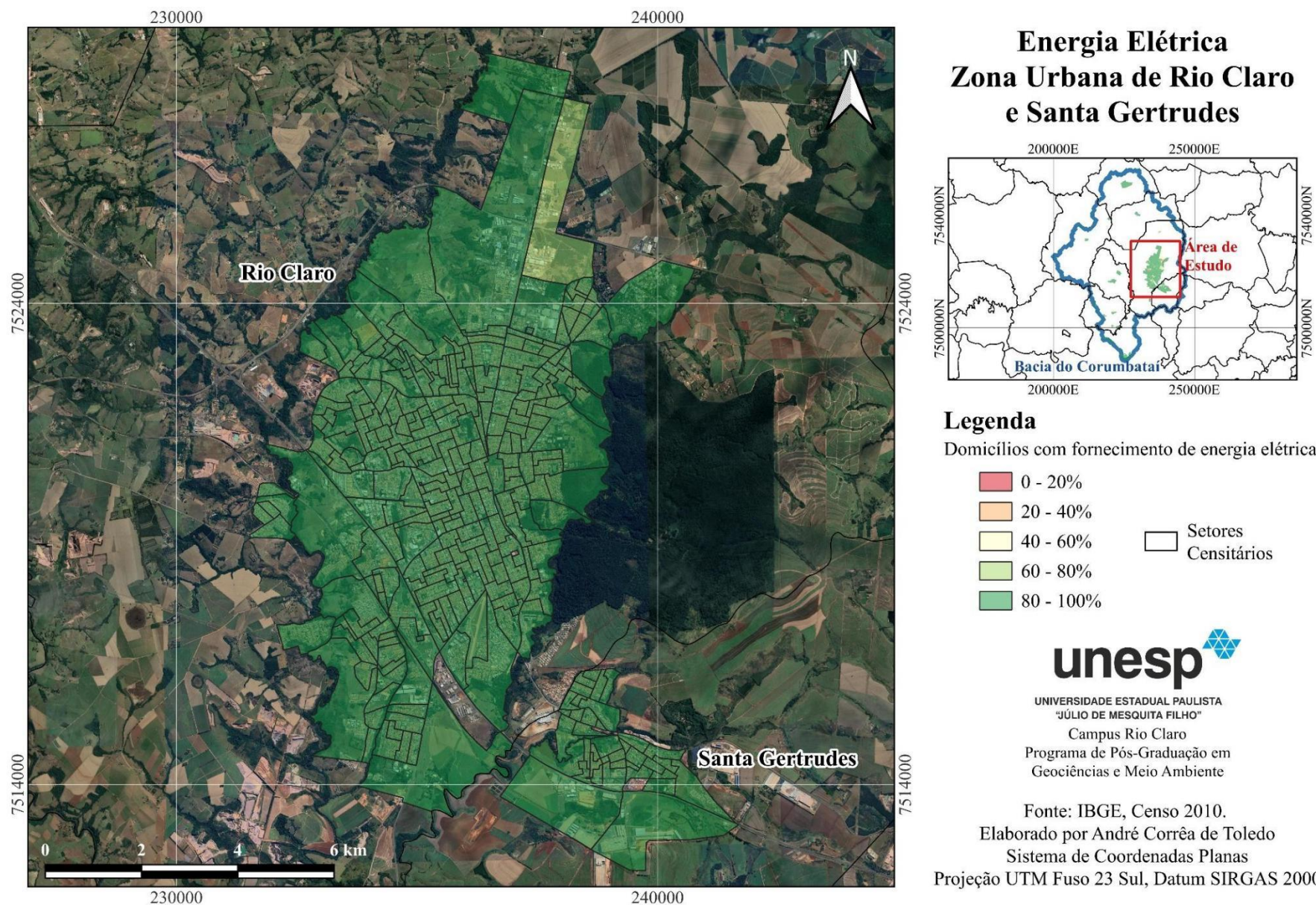
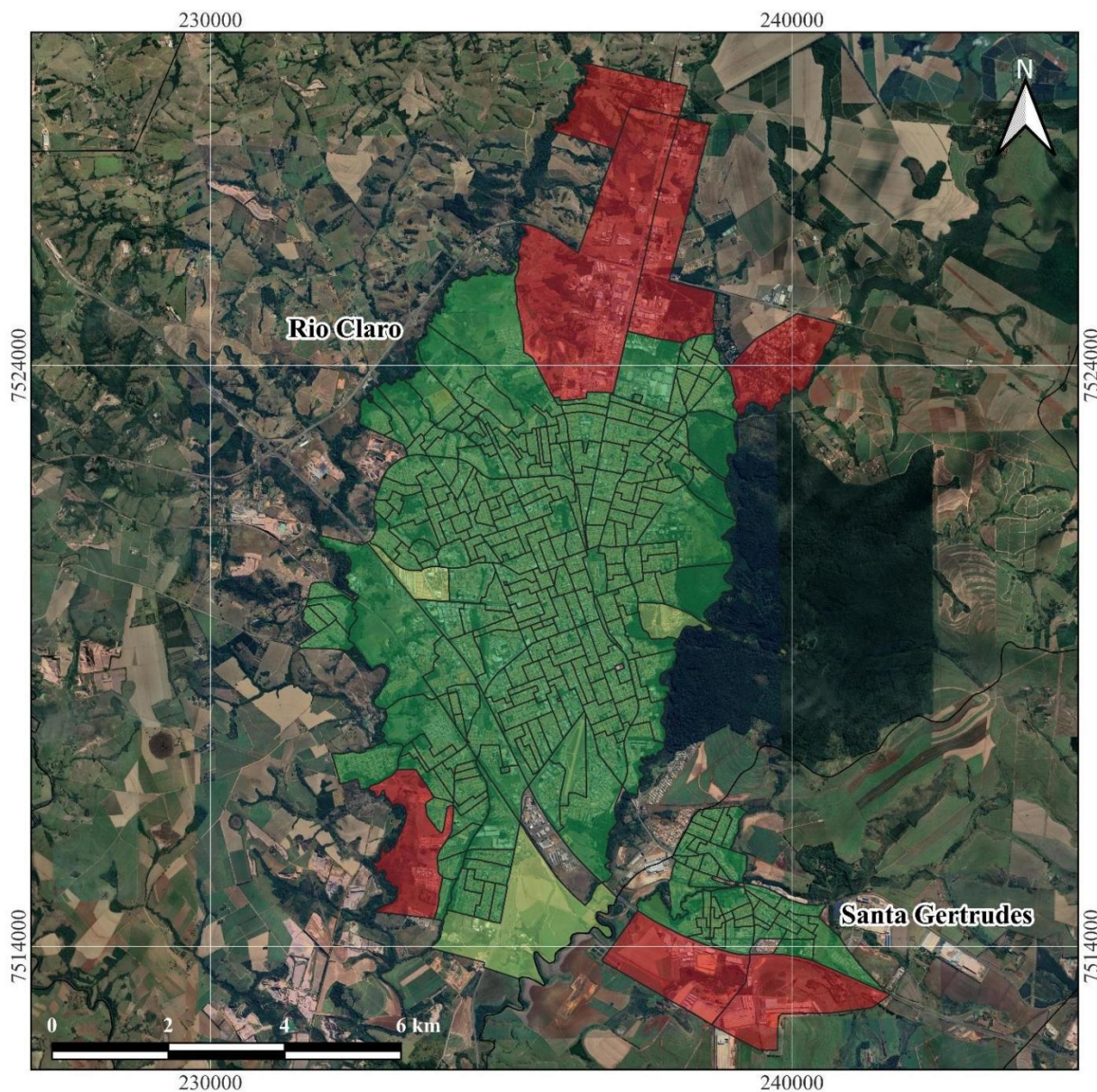


Figura 17 – Mapa da destinação do esgoto na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

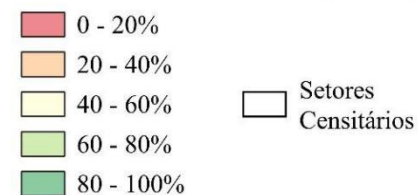


Destinação de Esgoto Urbano Zona Urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes



Legenda

Domicílios com destinações de esgoto adequadas



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

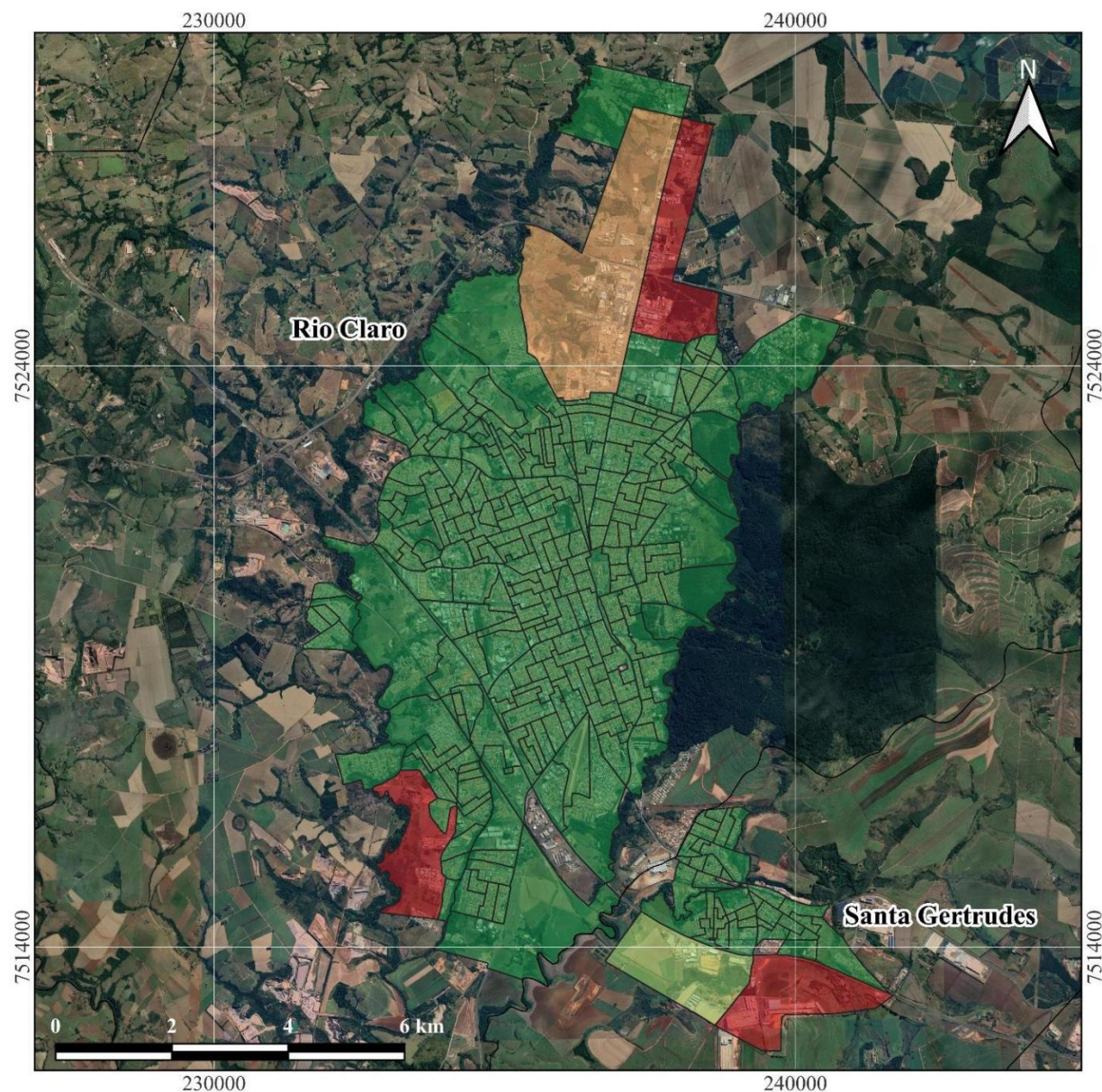
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.

Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas

Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 18 – Mapa da coleta de lixo na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.



Coleta de Lixo Zona Urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes



Legenda

Domicílios atendidos pela coleta de lixo

0 - 20%

20 - 40%

40 - 60%

60 - 80%

80 - 100%

Setores
Censitários

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

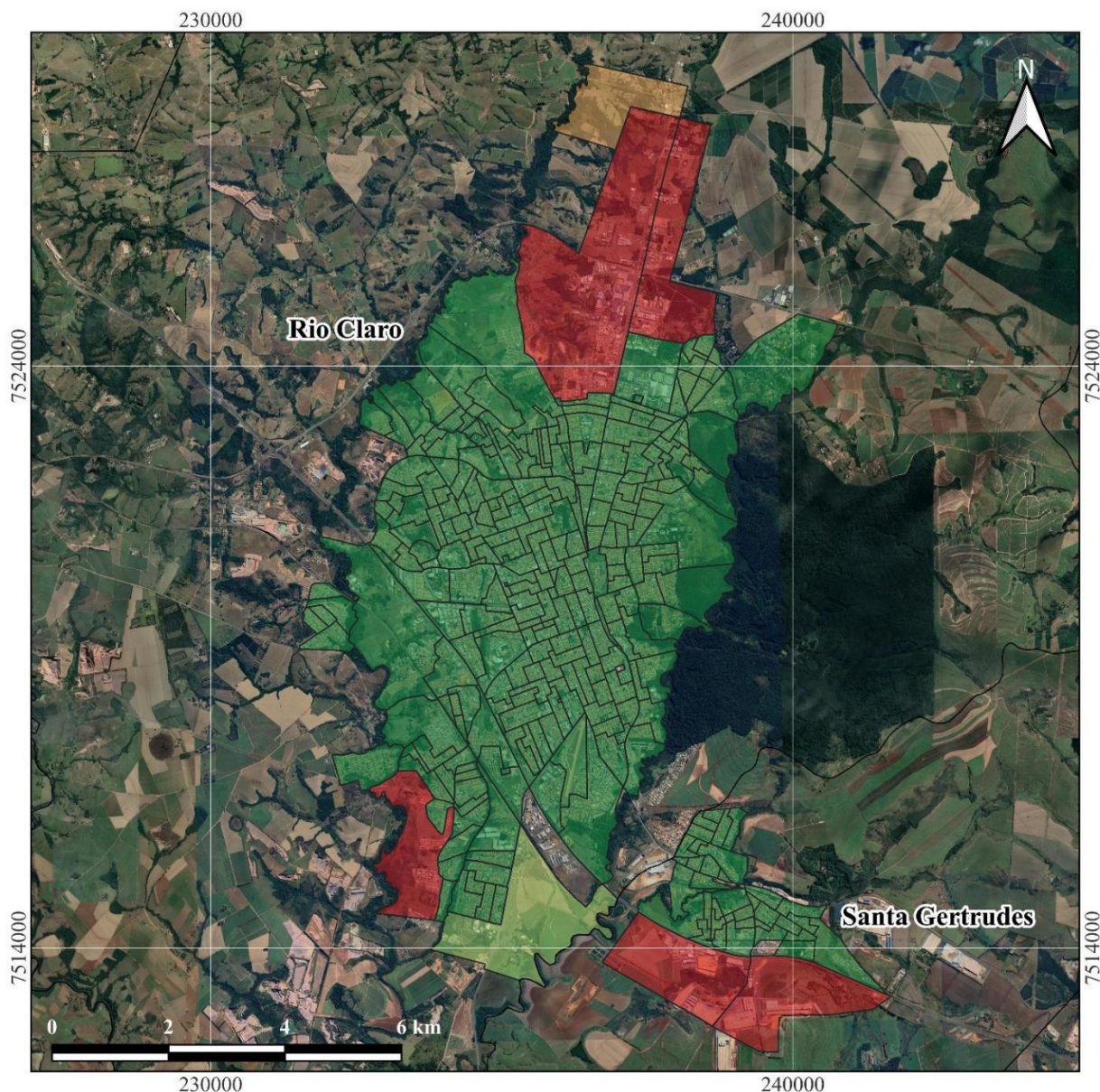
Fonte: IBGE, Censo 2010.

Elaborado por André Corrêa de Toledo

Sistema de Coordenadas Planas

Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 19 – Mapa da condição das moradias na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

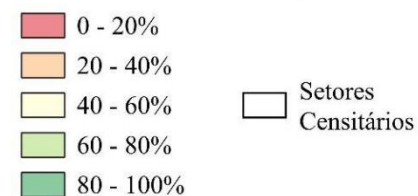


Condição de Moradia Zona Urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes



Legenda

Domicílios com condições adequadas de moradia



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.

Elaborado por André Corrêa de Toledo

Sistema de Coordenadas Planas

Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 20 – Mapa do esgoto a céu aberto na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

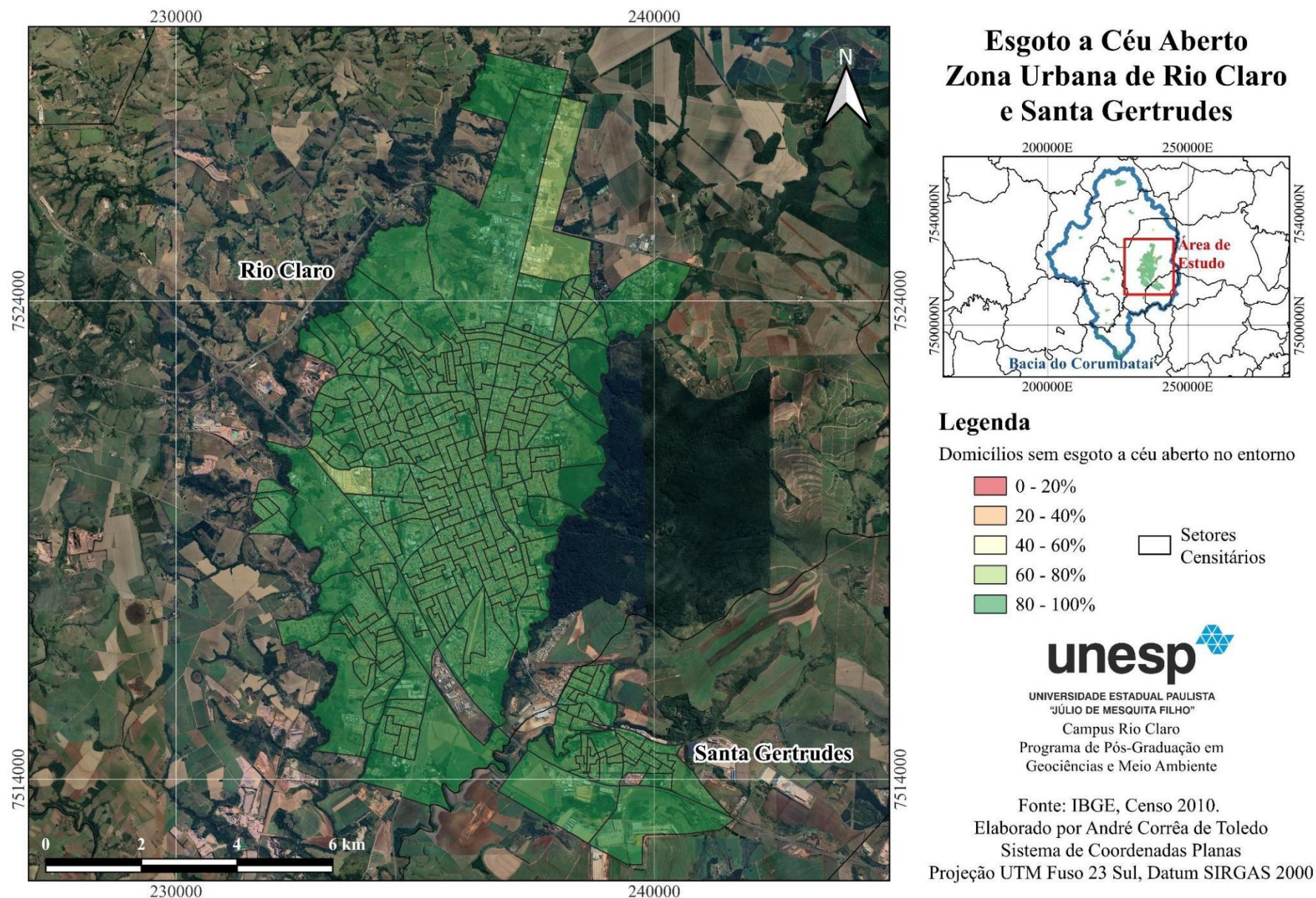


Figura 21 - Mapa do lixo acumulado no entorno de domicílios na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

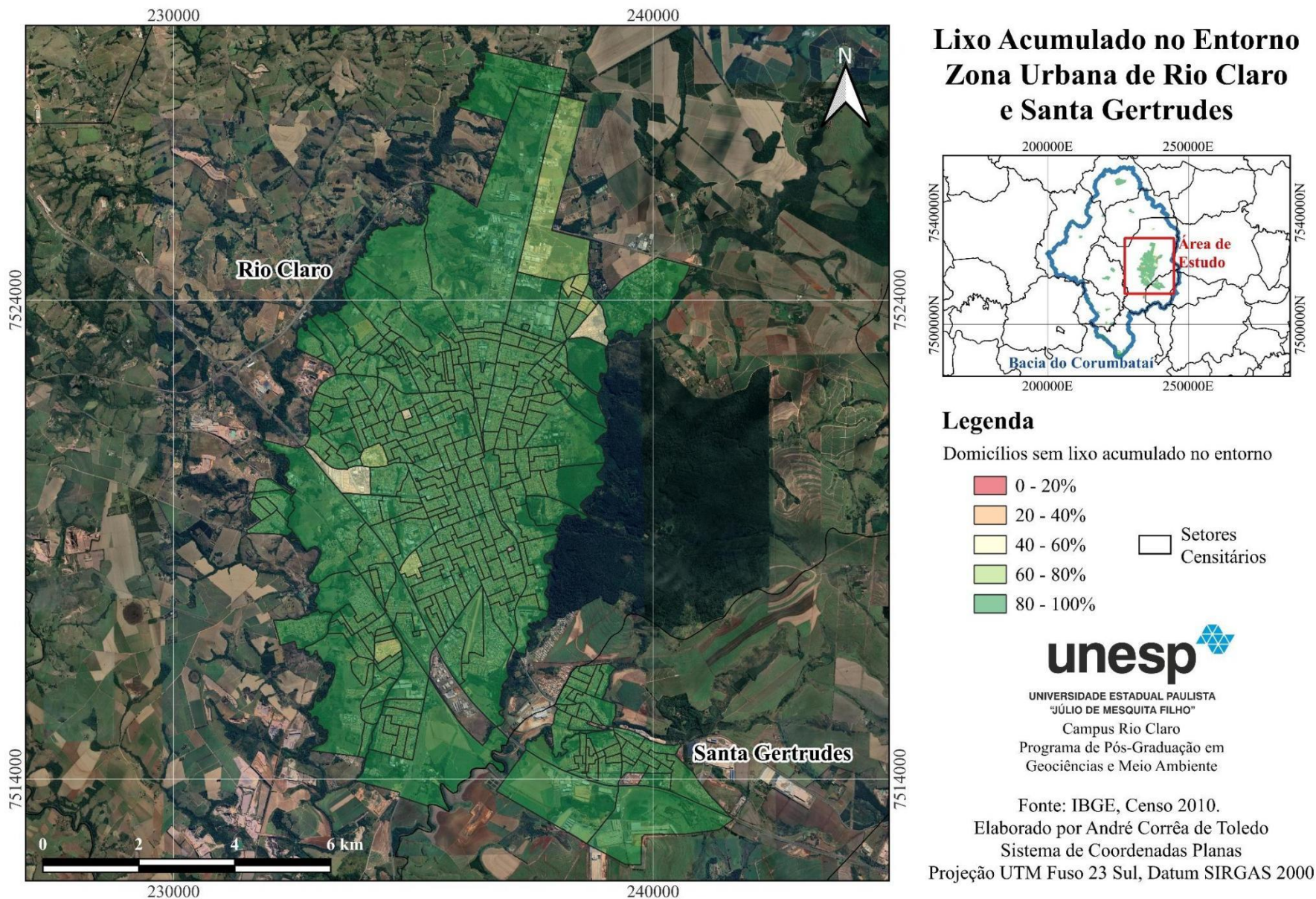


Figura 22 – Mapa da pavimentação das vias da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

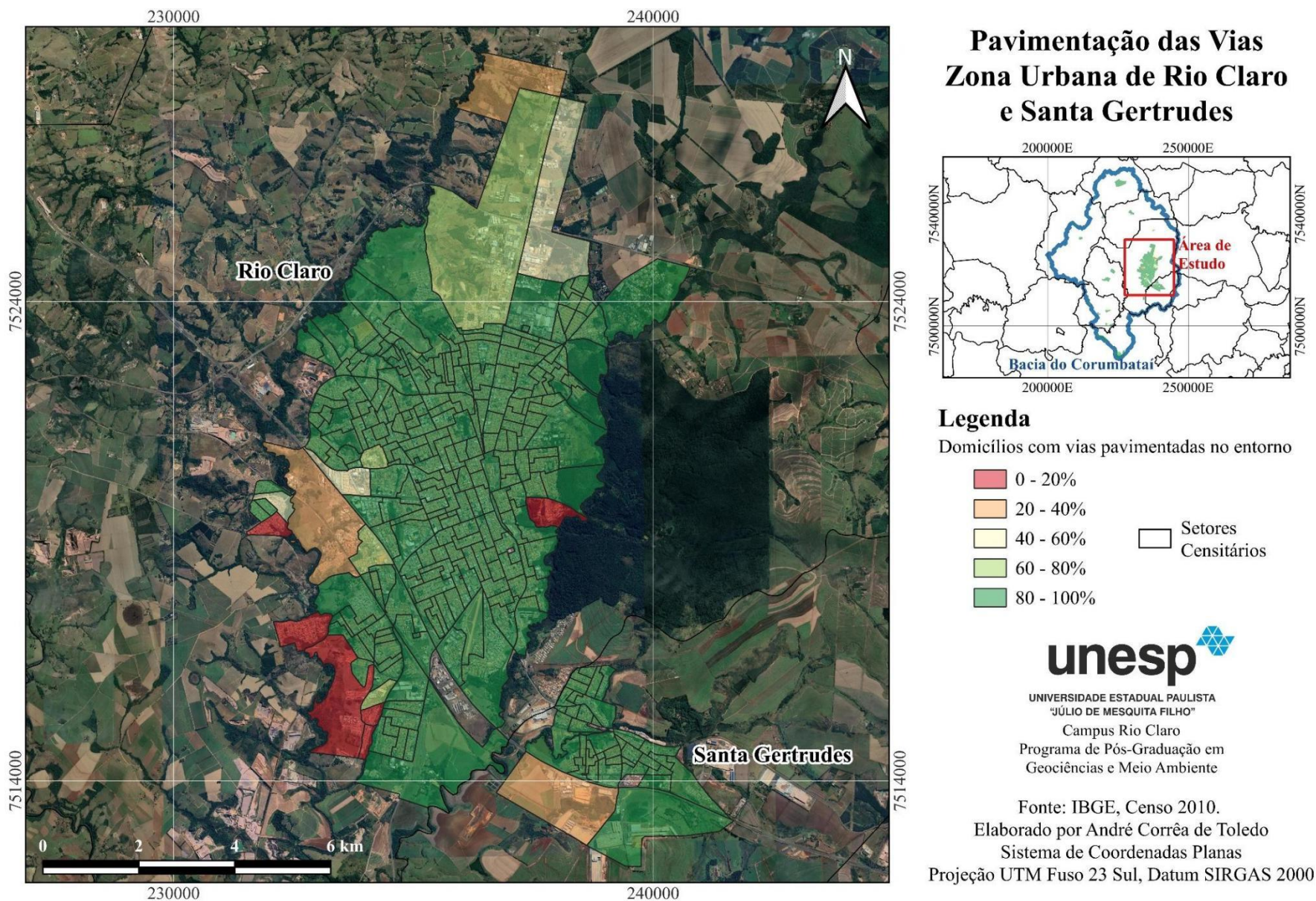


Figura 23 – Mapa da iluminação pública da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

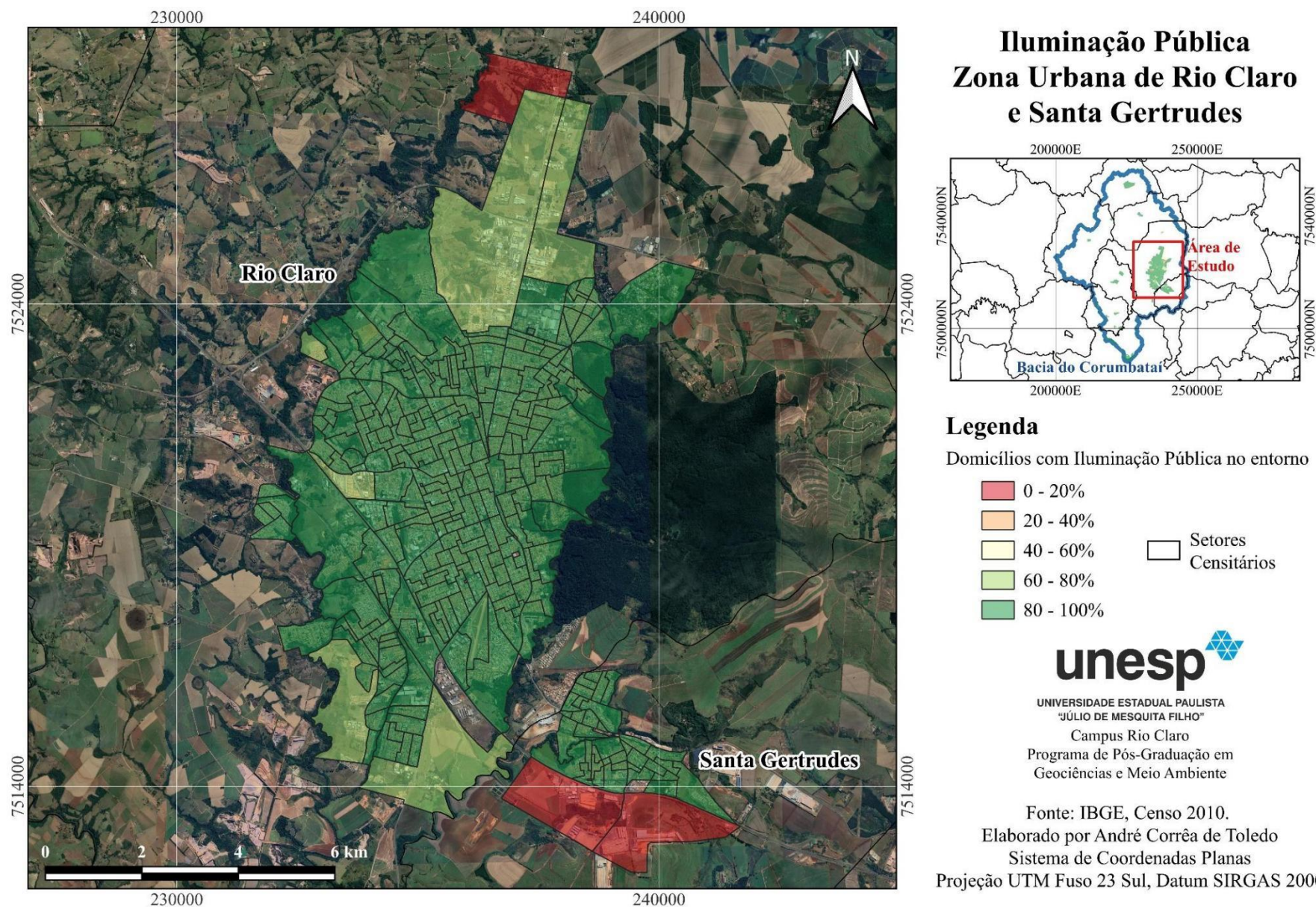


Figura 24 – Mapa da arborização da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

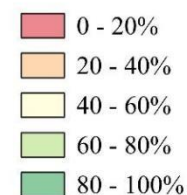


Arborização Zona Urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes



Legenda

Domicílios com arborização no entorno



Setores
Censitários

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

Figura 25 – Mapa da distribuição de renda na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.

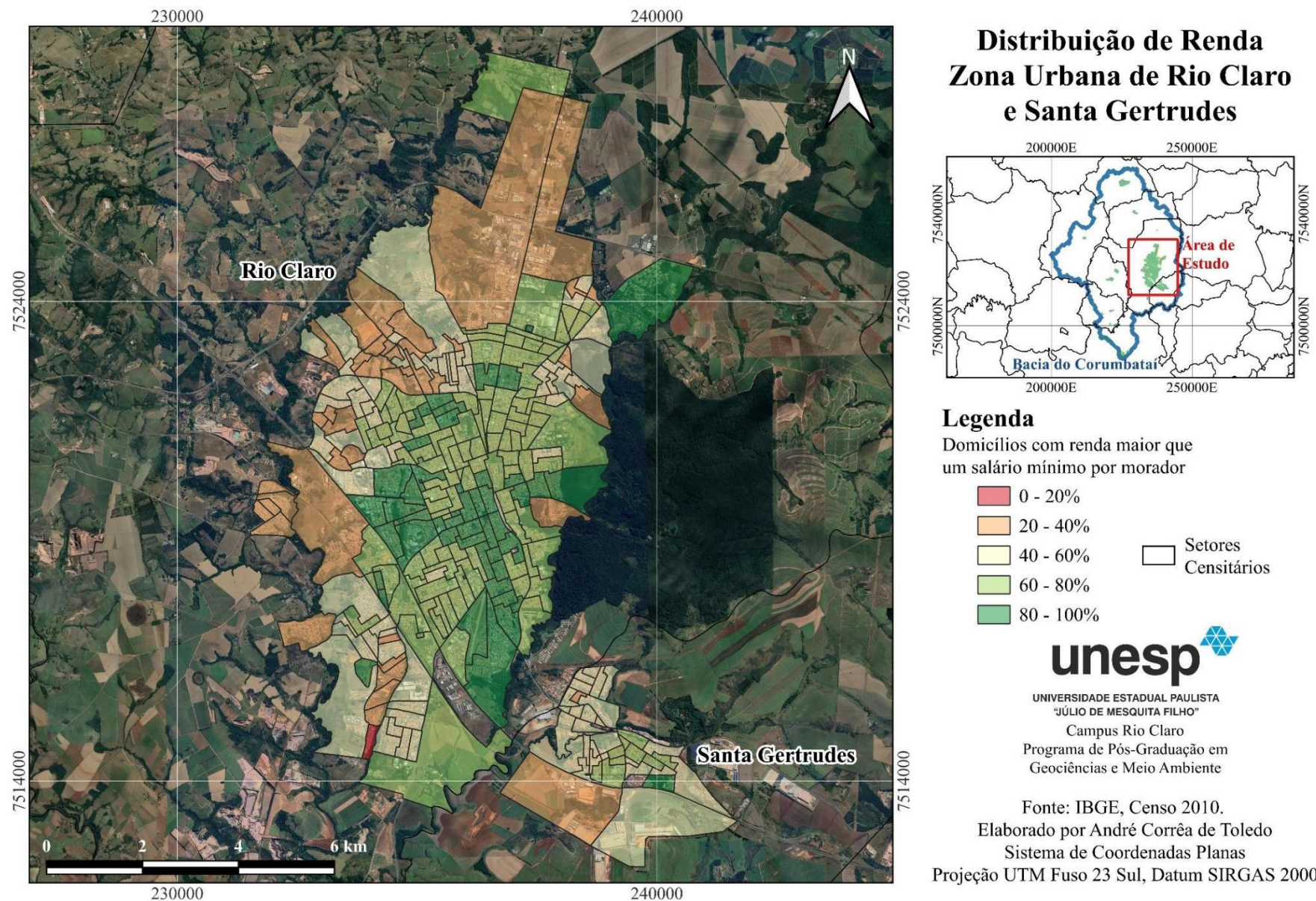
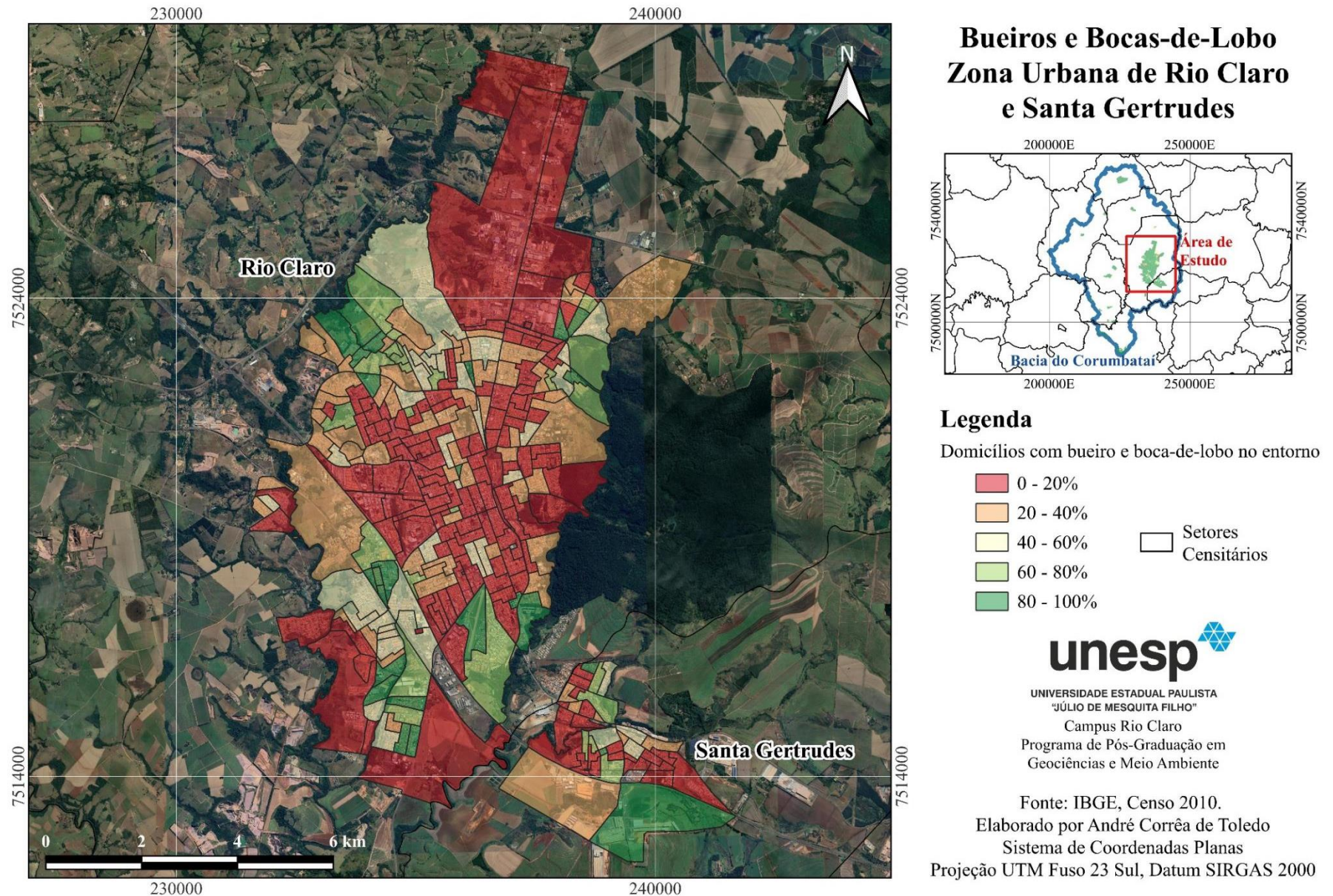


Figura 26 – Mapa de bueiros e bocas-de-lobo na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.



Em relação à zona urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes, os mapas de fornecimento de energia elétrica (Figura 15) e abastecimento de água (Figura 16) demonstram coberturas excelentes destes serviços em toda a zona urbana.

Os mapas de destinação de esgoto (Figura 17), coleta de lixo (Figura 18), e condições de moradias (Figura 19), por sua vez, apresentam resultados excelentes em quase todos os setores, porém com algumas exceções em regiões periféricas, de expansão urbana das cidades, o que é compatível com a realidade dos municípios. Como os critérios para a zona urbana são mais restritivos do que para a zona rural, alguns dos setores censitários apresentam desempenhos menores do que no mapa de destinação de esgoto rural (Figura 14).

Em relação ao entorno dos domicílios destaca-se o excelente desempenho das variáveis esgoto a céu aberto (Figura 20) e lixo acumulado (Figura 21). Mesmo nas regiões periféricas, onde pode haver déficits nestes serviços, os setores não apresentam condições ruins.

De maneira semelhante, a pavimentação (Figura 22) e a iluminação pública (Figura 23) também têm boas coberturas nas cidades, sendo deficitárias apenas nas áreas de expansão urbana.

O mapa de arborização (Figura 24), por outro lado, apresenta tendência inversa dos demais, com menos árvores nas regiões centrais da cidade, e mais setores arborizados nas regiões periféricas, o que condiz com as características urbanísticas da cidade de Rio Claro.

O mapa da distribuição de renda (Figura 25) apresenta grandes diferenças entre as áreas mais e menos nobres das cidades, com maior concentração na área central da cidade e menores concentrações nas áreas periféricas. É interessante notar que mesmo bairros mais afastados do centro podem apresentar rendas mais elevadas, uma vez que existem alguns condomínios fechados em regiões periféricas da cidade, nos quais há maior concentração de renda.

Neste ponto, vale destacar a comparação entre o mapa de renda (Figura 25) e os mapas de serviços básicos (Figuras 15 até 18). Mesmo nas regiões com menores rendimentos das cidades, os serviços apresentam coberturas muito satisfatórias, ou

seja, bairros menos favorecidos não são deixados em segundo plano nestas questões, e apresentam condições básicas de infraestrutura.

Diversos mapas apontam os setores censitários com pontuações ruins na zona norte da cidade de Rio Claro. Entretanto, o conhecimento da região é fundamental para se compreender o motivo desta classificação. Tal região compreende o distrito industrial da cidade, de modo que já se esperava algumas particularidades nestes bairros, quando comparados aos bairros residenciais e comerciais.

Por fim, vale destacar o mapa de Bueiro e Boca de Lobo (Figura 26), o qual consiste em uma variável peculiar. Apesar do mapa representar a realidade, no sentido de apontar as regiões com maior proporção deste tipo de dispositivo de infraestrutura, esta variável não pode ser entendida como um indicador de áreas mais estruturadas ou de áreas com maior susceptibilidade a enchentes, por exemplo.

Isto se deve ao fato que áreas com maior escoamento superficial, em regra, apresentam maiores quantidades de bocas de lobo, e áreas nas quais não há escoamento, devido a fatores como a morfologia do terreno, não necessitam de grandes quantidades deste tipo de dispositivo. Ou seja, é equivocado relacionar áreas com poucas bocas de lobo com áreas susceptíveis a enchentes, sem antes avaliar diversos outros fatores.

Por estes motivos, esta variável não foi utilizada na geração de nenhum dos mapas com a técnica AHP, entretanto, optou-se por apresentá-la neste trabalho para ilustrar que devem sempre ser tomados alguns cuidados ao se trabalhar com variáveis espacializadas, e que é necessário o entendimento dos processos com os quais se pretende trabalhar.

5.2. Sobreposição Ponderada pela a AHP

A seguir são apresentados e discutidos os produtos gerados a partir da sobreposição ponderada dos mapas por meio da técnica AHP.

Foram gerados seis mapas, sendo três em escala regional, ao nível da bacia do Corumbataí, e três em escala local, englobando a zona urbana das cidades de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Os mapas regionais foram: Mapa da Susceptibilidade à Erosão, Mapa do Potencial de Impacto Ambiental das Atividades Socioeconômicas, e Mapa da Qualidade de Vida Rural. Os mapas em escala urbana foram: Mapa do Fornecimento de Serviços Básicos; Mapa da Qualidade do Entorno, e Mapa da Qualidade dos Domicílios.

5.2.1. Susceptibilidade à Erosão

O Mapa de Susceptibilidade à Erosão, apresentado na Figura 27, fez uso das três seguintes variáveis: Declividade, Pedologia, e Uso e Ocupação do Solo.

A elaboração deste mapa contou com dois níveis de hierarquização por meio da técnica AHP. Inicialmente, foram hierarquizadas cada uma das categorias dentro de cada variável, para em seguida hierarquizar-se as variáveis entre si. Os pesos atribuídos em cada caso foram adaptados de trabalhos levantados durante a revisão bibliográfica.

Para o Uso e Ocupação do Solo, uma vez reclassificadas as categorias, utilizou-se a técnica AHP para hierarquizá-las com base no objetivo deste mapa, tomando como base as ponderações empregadas no trabalho realizado por Gimenes (2013). A Tabela 10, a seguir, apresenta as matrizes relacionadas esta variável.

Tabela 10 – Matrizes AHP para uso e ocupação no mapa de susceptibilidade à erosão.

Matriz Recíproca	Mata Nativa	Reflorestamento	Área agrícola	Pasto	Mineração	Indústria	Loteamento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Área artificial
Mata Nativa	1/1	1/2	1/4	1/5	1/7	2/1	1/6	1/3	1/7	1/3	2/1
Reflorestamento	2/1	1/1	1/4	1/5	1/8	3/1	1/6	1/4	1/8	1/2	3/1
Área Agrícola	4/1	4	1/1	1/3	1/4	5/1	1/5	1/1	1/4	3/1	5/1
Pastagem	5/1	5/1	3/1	1/1	1/3	7/1	1/2	3/1	1/3	4/1	7/1
Mineração	7/1	8/1	4/1	3/1	1/1	9/1	3/1	4/1	1/1	5/1	8/1
Indústria	1/2	1/3	1/5	1/7	1/9	1/1	1/7	1/6	1/9	1/4	1/1
Loteamento	6/1	6/1	5/1	2/1	1/3	7/1	1/1	4/1	1/2	5/1	7/1
Aterro	3/1	4/1	1/1	1/3	1/4	6/1	1/4	1/1	1/4	2/1	2/1
Solo Exposto	7/1	8/1	4/1	3/1	1/1	9/1	2/1	4/1	1/1	6/1	9/1
Corpo d'água	3/1	2/1	1/3	1/4	1/5	4/1	1/5	1/2	1/6	1/1	4/1
Área Artificial	1/2	1/3	1/5	1/7	1/8	1/1	1/7	1/2	1/9	1/4	1/1
SOMA	39,00	39,17	19,23	10,60	3,87	54,00	7,77	18,75	3,99	27,33	49,00

Matriz Normalizada	Mata Nativa	Reflorestamento	Área agrícola	Pasto	Mineração	Indústria	Loteamento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Área artificial	Pesos Normalizados
Mata Nativa	0,0256	0,0128	0,0130	0,0189	0,0369	0,0370	0,0215	0,0178	0,0358	0,0122	0,0408	0,0248
Reflorestamento	0,0513	0,0255	0,0130	0,0189	0,0323	0,0556	0,0215	0,0133	0,0313	0,0183	0,0612	0,0311
Área Agrícola	0,1026	0,1021	0,0520	0,0314	0,0646	0,0926	0,0257	0,0533	0,0627	0,1098	0,1020	0,0726
Pastagem	0,1282	0,1277	0,1560	0,0943	0,0861	0,1296	0,0644	0,1600	0,0835	0,1463	0,1429	0,1199
Mineração	0,1795	0,2043	0,2080	0,2830	0,2584	0,1667	0,3861	0,2133	0,2506	0,1829	0,1633	0,2269
Indústria	0,0128	0,0085	0,0104	0,0135	0,0287	0,0185	0,0184	0,0089	0,0278	0,0091	0,0204	0,0161
Loteamento	0,1538	0,1532	0,2600	0,1886	0,0861	0,1296	0,1287	0,2133	0,1253	0,1829	0,1429	0,1604
Aterro	0,0769	0,1021	0,0520	0,0314	0,0646	0,1111	0,0322	0,0533	0,0627	0,0732	0,0408	0,0637
Solo Exposto	0,1795	0,2043	0,2080	0,2830	0,2584	0,1667	0,2574	0,2133	0,2506	0,2195	0,1837	0,2204
Corpo d'água	0,0769	0,0511	0,0173	0,0236	0,0517	0,0741	0,0257	0,0267	0,0418	0,0366	0,0816	0,0461
Área Artificial	0,0128	0,0085	0,0104	0,0135	0,0323	0,0185	0,0184	0,0267	0,0278	0,0091	0,0204	0,0180

Análise de Erro	
Índice de Consistência	0,1063
Índice de Consistência Randômico	1,5100
Razão de Consistência (<0,1)	0,0704

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à Declividade, foram utilizadas as classes de declividade propostas pela EMBRAPA (LEMOS e SANTOS, 1996), com os respectivos pesos adotados em seguida: Plano: 0% a 3%, Suave Ondulado: 3% a 8%, Ondulado: 8% a 20%, Forte Ondulado: 20% a 45%, Montanhoso: 45% a 75%, Escarpado: Acima de 75%. A Tabela 11, a seguir, apresentada as matrizes elaboradas com a finalidade de ponderar os pesos de cada classe de declividade.

Tabela 11 – Matrizes AHP para declividade no mapa de susceptibilidade à erosão.

Matriz Recíproca	0-3%	3-8%	8-20%	20-45%	45-75%	>75%	
0-3%	1/1	1/3	1/6	1/7	1/8	1/9	
3-8%	5/1	1/1	1/5	1/6	1/7	1/8	
8-20%	6/1	5/1	1/1	1/3	1/4	1/5	
20-45%	7/1	6/1	3/1	1/1	1/2	1/3	
45-75%	8/1	7/1	4/1	2/1	1/1	1/2	
>75%	9/1	8/1	5/1	3/1	2/1	1/1	
SOMA	36,00	27,20	13,37	6,64	4,02	2,27	
Matriz Normalizada	0-3%	3-8%	8-20%	20-45%	45-75%	>75%	Pesos Normalizados
0-3%	0,0294	0,0122	0,0125	0,0215	0,0311	0,0490	0,0259
3-8%	0,0882	0,0366	0,0150	0,0251	0,0356	0,0551	0,0426
8-20%	0,1765	0,1829	0,0748	0,0502	0,0622	0,0881	0,1058
20-45%	0,2059	0,2195	0,2244	0,1505	0,1244	0,1469	0,1786
45-75%	0,2353	0,2561	0,2993	0,3011	0,2489	0,2203	0,2602
>75%	0,2647	0,2927	0,3741	0,4516	0,4978	0,4406	0,3869
Análise de Erro							
	Índice de Consistência		0,1139				
	Índice de Consistência Randômico		1,2400				
	Razão de Consistência (<0,1)		0,0919				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a Pedologia, decidiu-se utilizar como os pesos de cada categoria de solo a soma dos valores do Fator K (índice de erodibilidade do solo em t.ha.h/ha.MJ.mm) para os horizontes A e B, previamente levantados dos trabalhos de Mannigel *et al.* (2002).

Os pesos adotados para cada uma das cinco categorias foram: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura média (0,1083), Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa (0,0099), Latossolo Vermelho Distroférrico com textura argilosa/muito argilosa (0,0123), Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura arenosa/média (0,4669), e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico com textura média/argilosa (0,0566).

Por fim, as três variáveis foram ponderadas entre si, conforme apresentado na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12 – Matrizes AHP para susceptibilidade à erosão.

Matriz Recíproca	Declividade	Pedologia	Uso e Ocupação	
Declividade	1/1	2/1	3/1	
Pedologia	1/2	1/1	2/1	
Uso e Ocupação	1/3	1/2	1/1	
SOMA	1,83	3,50	6,00	
Matriz Normalizada	Declividade	Pedologia	Uso e Ocupação	Pesos Normalizados
Declividade	0,5455	0,5714	0,5000	0,5390
Pedologia	0,2727	0,2857	0,3333	0,2973
Uso e Ocupação	0,1818	0,1429	0,1667	0,1638
Análise de Erro				
Índice de Consistência	0,0056			
Índice de Consistência Randômico	0,5800			
Razão de Consistência (<0,1)	0,0096			

Fonte: Elaborado pelo autor.

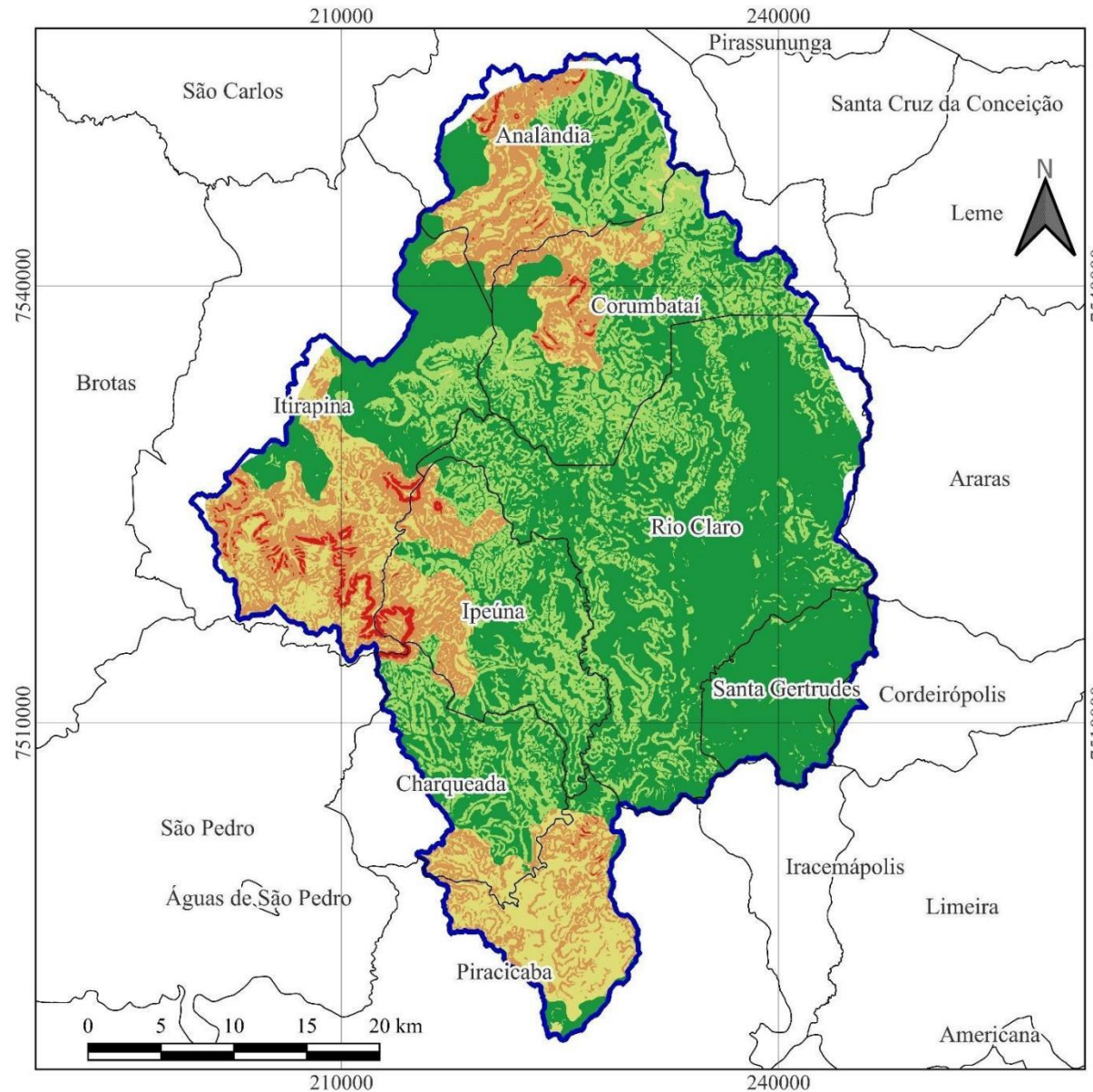
Analisando-se os resultados, nota-se a existência de três áreas principais de atenção, a norte, oeste e sul da bacia, e uma região na qual a susceptibilidade à erosão é menos pronunciada, a leste e no centro da bacia.

Vale destacar a forte influência dos tipos de solo no potencial de erosão. Este resultado condiz com os estudos de índices de erodibilidade encontrados na literatura, uma vez que a diferença no fator K dos solos mais resistentes para os menos resistentes é da ordem de 47 vezes.

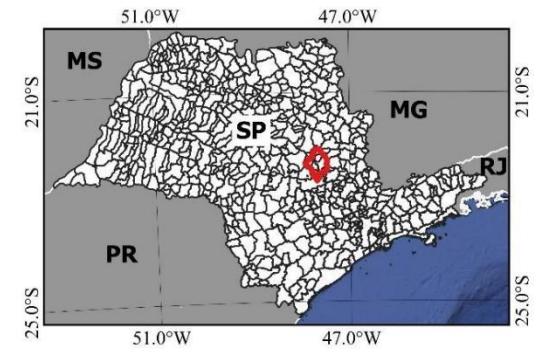
Entretanto, nota-se que a variável mais impactante foi a Declividade, o que fica evidenciado pelas áreas classificadas como de Alta e Muito Alta susceptibilidade, as quais correspondem aos terrenos de maiores inclinações, sobretudo nas regiões próximas à Serra do Itaqueri, onde o relevo escarpado é fator crucial no potencial de erodibilidade dos solos.

As regiões urbanas de Rio Claro e Santa Gertrudes foram classificadas como de Baixa e Muito Baixa susceptibilidade à erosão, uma vez que se trata de áreas majoritariamente de relevo plano ou suave ondulado, nas quais as atividades de uso e ocupação, uma vez estabelecidas, não realizam grandes movimentações solo.

Figura 27 – Mapa de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do Rio Corumbataí.



Susceptibilidade à Erosão Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Susceptibilidade à Erosão

- Muito Baixa
- Baixa
- Moderada
- Alta
- Muito Alta

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro

Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

5.2.2. Potencial de Impacto Ambiental das Atividades Socioeconômicas

O mapa de potencial de impacto das atividades socioeconômicas na bacia do Corumbataí, apresentado na Figura 28, foi elaborado a partir da hierarquização, por meio da técnica AHP, dos dados de uso e ocupação do solo. A Tabela 13, a seguir, apresenta as matrizes confeccionadas.

Tabela 13 – Matrizes AHP para uso e ocupação no mapa de potencial de impacto das atividades socioeconômicas.

Matriz Recíproca	Mata Nativa	Reflo resta mento	Área agrí cola	Pasto	Mine ração	Indús tria	Lotea mento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Área artificial	
Mata Nativa	1/1	2/1	4/1	5/1	9/1	8/1	7/1	5/1	7/1	3/1	6/1	
Reflores tamento	1/2	1/1	3/1	4/1	8/1	7/1	6/1	4/1	6/1	2/1	5/1	
Área Agrícola	1/4	1/3	1/1	2/1	6/1	5/1	4/1	2/1	4/1	1/2	3/1	
Pastagem	1/5	1/4	1/2	1/1	4/1	3/1	2/1	1/2	2/1	1/4	1/2	
Mineração	1/9	1/8	1/6	1/4	1/1	1/2	1/3	1/5	1/3	1/7	1/4	
Indústria	1/8	1/7	1/5	1/3	2/1	1/1	1/2	1/4	1/2	1/6	1/3	
Loteamento	1/7	1/6	1/4	1/2	3/1	2/1	1/1	1/3	1/1	1/5	1/2	
Aterro	1/5	1/4	1/2	2/1	5/1	4/1	3/1	1/1	3/1	1/3	2/1	
Solo Exposto	1/7	1/6	1/4	1/2	3/1	2/1	1/1	1/3	1/1	1/5	1/2	
Corpo d'água	1/3	1/2	2/1	4/1	7/1	6/1	5/1	3/1	5/1	1/1	3/1	
Área Artificial	1/6	1/5	1/3	2/1	4/1	3/1	2/1	1/2	2/1	1/3	1/1	
SOMA	3,17	5,13	12,20	21,58	52,00	41,50	31,83	17,12	31,83	8,13	22,08	
Matriz Norma lizada	Mata Nativa	Reflo resta mento	Área agrí cola	Pasto	Mine ração	Indús tria	Lotea mento	Aterro	Solo Exposto	Corpo d'água	Área artifi cial	Pesos Norma lizados
Mata Nativa	0,3153	0,3895	0,3279	0,2317	0,1731	0,1928	0,2199	0,2921	0,2199	0,3692	0,2717	0,2730
Refloresta mento	0,1576	0,1948	0,2459	0,1853	0,1538	0,1687	0,1885	0,2337	0,1885	0,2461	0,2264	0,1990
Área Agrícola	0,0788	0,0649	0,0820	0,0927	0,1154	0,1205	0,1257	0,1168	0,1257	0,0615	0,1358	0,1018
Pastagem	0,0631	0,0487	0,0410	0,0463	0,0769	0,0723	0,0628	0,0292	0,0628	0,0308	0,0226	0,0506
Mineração	0,0350	0,0243	0,0137	0,0116	0,0192	0,0120	0,0105	0,0117	0,0105	0,0176	0,0113	0,0161
Indústria	0,0394	0,0278	0,0164	0,0154	0,0385	0,0241	0,0157	0,0146	0,0157	0,0205	0,0151	0,0221
Loteamento	0,0450	0,0325	0,0205	0,0232	0,0577	0,0482	0,0314	0,0195	0,0314	0,0246	0,0226	0,0324
Aterro	0,0631	0,0487	0,0410	0,0927	0,0962	0,0964	0,0942	0,0584	0,0942	0,0410	0,0906	0,0742
Solo Exposto	0,0450	0,0325	0,0205	0,0232	0,0577	0,0482	0,0314	0,0195	0,0314	0,0246	0,0226	0,0324
Corpo d'água	0,1051	0,0974	0,1639	0,1853	0,1346	0,1446	0,1571	0,1753	0,1571	0,1231	0,1358	0,1436
Área Artificial	0,0525	0,0390	0,0273	0,0927	0,0769	0,0723	0,0628	0,0292	0,0628	0,0410	0,0453	0,0547
Análise de Erro												
Índice de Consistência				0,0687								
Indice de Consistência Randômico				1,5100								
Razão de Consistência (<0,1)				0,0455								

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os julgamentos pareados entre cada uma das onze categorias de uso do solo foram realizados respeitando-se critérios encontrados na literatura em trabalhos como o de Ross (1994), onde o autor elenca diversos tipos de uso do solo, e estabelece uma hierarquia de graus de proteção ao solo, conforme o tipo de cobertura vegetal.

Conforme pode ser visto na matriz normalizada, os pesos normalizados atribuídos aos atributos do mapa foram: mata nativa (0,2730); reflorestamento (0,1990); área agrícola (0,1018); pastagem (0,0506); mineração (0,0161); indústria (0,0221); loteamento (0,0324); aterro (0,0742); solo exposto (0,0324); corpo d'água (0,1435); superfícies artificiais (0,0547).

No mapa elaborado (Figura 28) é possível observar que a bacia ainda conta com considerável área classificada como de baixo potencial de impacto ambiental, devido aos fragmentos de mata nativa preservada e de reflorestamento. No entanto, a maior parte de sua área é ocupada por atividades classificadas como de potencial de impacto Moderado e Médio, as quais representam principalmente atividades agropecuárias e as zonas urbanas.

Por outro lado, áreas consideradas como de alto potencial de impacto ambiental podem ser observadas sobretudo nas imediações das zonas urbanas, com destaque para Rio Claro e Santa Gertrudes, onde desenvolvem-se atividades industriais e de mineração.

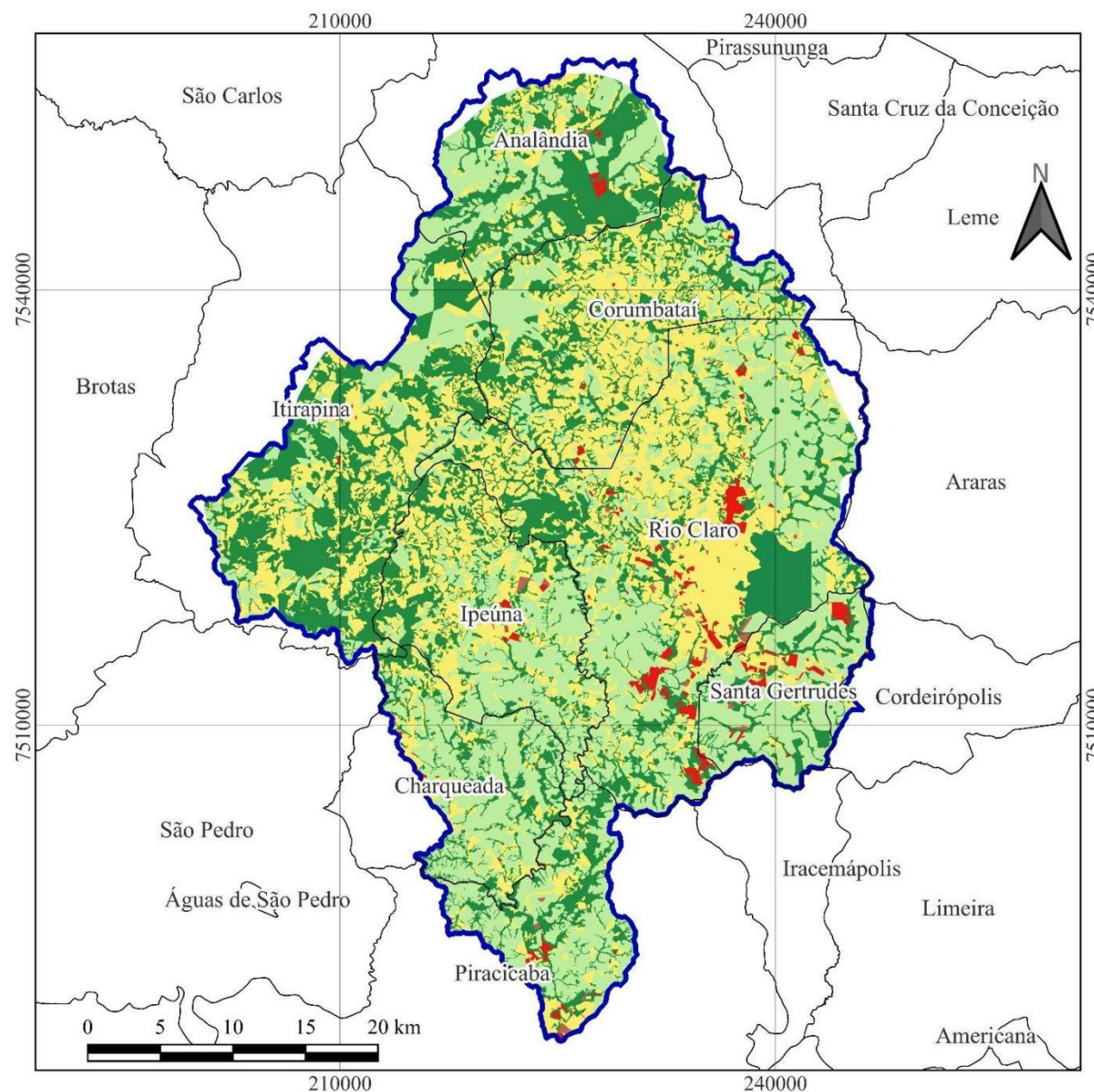
Interessante ressaltar que este mapa foi elaborado utilizando as mesmas modalidades de uso e ocupação do solo do mapa anterior. Entretanto, como o objetivo aqui não era mais avaliar unicamente o potencial de perda de solo, mas sim o potencial de impacto ambiental das atividades desenvolvidas, não se considerou o uso de variáveis do meio físico, como a declividade, fundamental para o mapa anterior.

Outra diferença fundamental está na atribuição de pesos às diferentes classes de uso e ocupação do solo. Por exemplo, para o mapa de susceptibilidade à erosão, atividades industriais não foram consideradas como de grande impacto, enquanto no mapa de potencial de impacto das atividades socioeconômicas, elas são consideradas prioritárias.

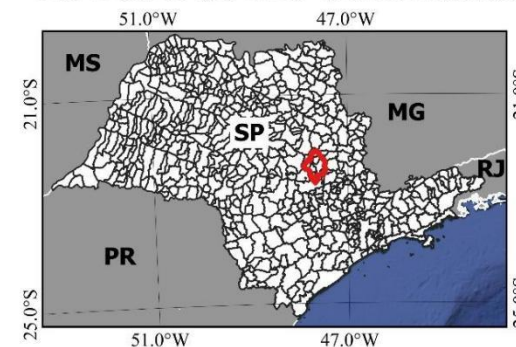
Estes dois mapas exemplificam a influência dos pesos no resultado obtido, e consequentemente a necessidade de o pesquisador compreender o fenômeno estudado para avaliar corretamente suas variáveis.

Todavia, a comparação entre os dois mapas demonstra como resultados e conclusões diferentes podem ser obtidas a partir de dados semelhantes, conforme os objetivos do pesquisador e dos processos estudados.

Figura 28 – Mapa do potencial de impacto ambiental das atividades desenvolvidas na Bacia do Rio Corumbataí.



Potencial de Impacto das Atividades Socioeconômicas na Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

Potencial de impacto ambiental das modalidades de uso e ocupação do solo

- Muito alto
- Alto
- Médio
- Moderado
- Baixo

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente, 2013.

Elaborado por André Corrêa de Toledo

Sistema de Coordenadas Planas

Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

5.2.3. Qualidade de Vida Regional na Bacia do Corumbataí

O mapa da qualidade de vida regional, apresentado na Figura 29, foi elaborado a partir das seguintes cinco variáveis: renda, abastecimento de água, energia elétrica, coleta de lixo, e destinação de esgoto. A Tabela 14, a seguir, apresenta as matrizes AHP utilizadas para conferir os pesos normalizados a estas variáveis.

Tabela 14 – Matrizes AHP para as variáveis do Mapa de Qualidade de Vida Rural.

Matriz Recíproca	Renda	Água	Energia	Lixo	Esgoto	
Renda	1/1	2/1	3/1	8/1	7/1	
Água	1/2	1/1	2/1	8/1	7/1	
Energia	1/3	1/2	1/1	8/1	7/1	
Lixo	1/8	1/8	1/8	1/1	1/1	
Esgoto	1/7	1/7	1/7	1/1	1/1	
SOMA	2,10	3,77	6,27	26,00	23,00	
Matriz Normalizada	Renda	Água	Energia	Lixo	Esgoto	Pesos Normalizados
Renda	0,4759	0,5308	0,4786	0,3076	0,3043	0,4194
Água	0,2379	0,2654	0,3190	0,3076	0,3043	0,2868
Energia	0,1586	0,1327	0,1595	0,3076	0,3043	0,2125
Lixo	0,0594	0,0331	0,0199	0,0384	0,0434	0,0389
Esgoto	0,0679	0,0379	0,0227	0,0384	0,0434	0,0421
Análise de Erro						
Índice de Consistência						0,0688
Índice de Consistência Randômico						1,1200
Razão de Consistência (<0,1)						0,0615

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este mapa buscou identificar as diferenças na qualidade de vida dos diferentes setores rurais da bacia do Corumbataí, e compará-los aos setores urbanos das maiores e menores cidades.

A região estudada apresentou excelente cobertura de alguns dos serviços básicos como abastecimento de água e fornecimento de energia elétrica, de modo que, apesar de algumas das variáveis apresentarem desempenhos ruins em setores rurais da bacia, os resultados foram balanceados por outras, não sendo observadas regiões classificadas como Inadequadas ou Muito Ruins.

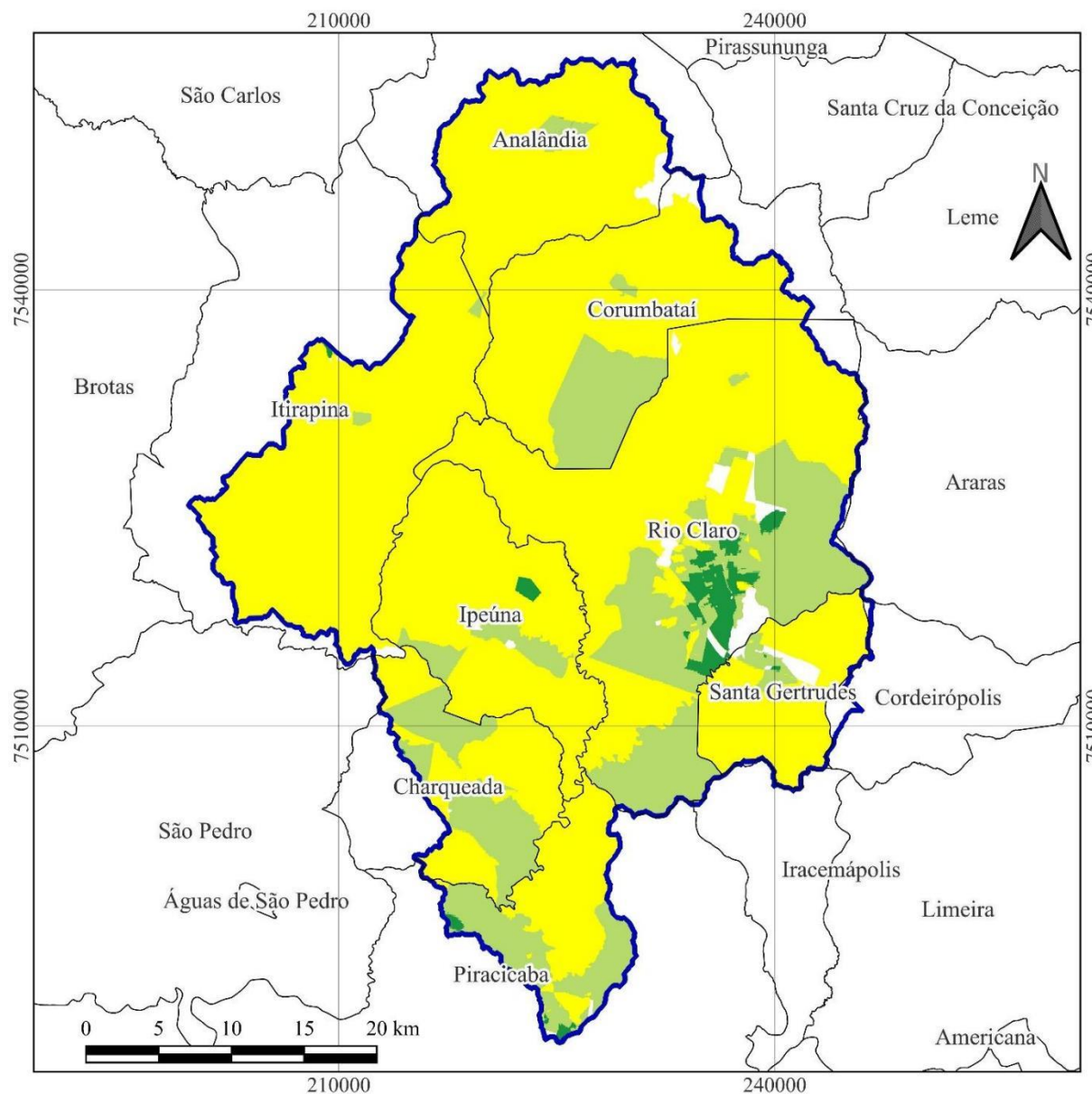
Por outro lado, a variável Renda demonstrou uma tendência clara de se concentrar em zonas urbanas, o que contribui para que a qualidade de vida rural se limite à classificação Razoável em grande parte do território, com apenas alguns fragmentos Satisfatórios.

Em geral, classificações Excelentes concentraram-se na zona urbana de Rio Claro, a maior cidade integralmente presente na bacia do Corumbataí.

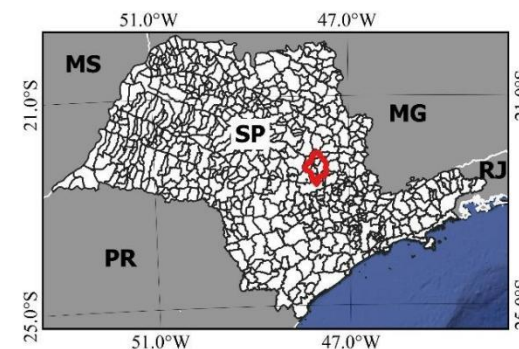
Por outro lado, é interessante notar que nas cidades menores, onde a classificação de suas zonas urbanas foi majoritariamente Satisfatória, também se nota uma diferença ao se observar a área rural em seu entorno, a qual geralmente recebeu a classificação Razoável.

Exceção interessante perceptível no mapa é o caso do condomínio de alto padrão denominado “Portal dos Nobres”, localizado a nordeste da zona urbana de Ipeúna, no centro da bacia, o qual, apesar de se encontrar em área rural, se destaca no mapa como uma área Excelente.

Figura 29 – Mapa da qualidade de vida na zona rural da Bacia do Rio Corumbataí.



Qualidade de Vida Rural Bacia do Rio Corumbataí



Legenda

- Muito Ruim
- Inadequado
- Razoável
- Satisfatório
- Excelente

unesp 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Rio Claro
Programa de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente

Fonte: IBGE, Censo 2010.
Elaborado por André Corrêa de Toledo
Sistema de Coordenadas Planas
Projeção UTM Fuso 23 Sul, Datum SIRGAS 2000

5.2.4. Fornecimento de Serviços básicos urbanos

O mapa do fornecimento de serviços básicos, apresentado na Figura 30, foi elaborado a partir das seguintes seis variáveis: Abastecimento de Água, Destinação de Esgoto, Coleta de Lixo, Energia Elétrica, Pavimentação das Vias e Iluminação Pública.

A Tabela 15, a seguir, apresenta as matrizes provenientes da técnica AHP, bem como os pesos normalizados conferidos a cada uma das variáveis na elaboração deste mapa.

Tabela 15 – Matrizes AHP para as variáveis do Mapa de Serviços Básicos.

Matriz Recíproca	Água	Esgoto	Lixo	Energia	Pavimen tação	Iluminação	
Água	1/1	4/1	6/1	2/1	5/1	3/1	
Esgoto	1/4	1/1	3/1	1/3	3/1	1/4	
Lixo	1/6	1/3	1/1	1/5	2/1	1/5	
Energia	1/2	3/1	5/1	1/1	4/1	2/1	
Pavimentação	1/5	1/3	1/2	1/4	1/1	1/3	
Iluminação	1/3	4/1	5/1	1/2	3/1	1/1	
SOMA	2,45	12,67	20,50	4,28	18,00	6,78	
Matriz Normalizada	Água	Esgoto	Lixo	Energia	Renda	Moradia	Pesos Normalizados
Água	0,4081	0,3157	0,2926	0,4669	0,2777	0,4422	0,3672
Esgoto	0,1020	0,0789	0,1463	0,0778	0,1666	0,0368	0,1014
Lixo	0,0680	0,0263	0,0487	0,0466	0,1111	0,0294	0,0550
Energia	0,2040	0,2368	0,2439	0,2334	0,2222	0,2948	0,2392
Pavimentação	0,0816	0,0263	0,0243	0,0583	0,0555	0,0491	0,0492
Iluminação	0,1360	0,3157	0,2439	0,1167	0,1666	0,1474	0,1877
Análise de Erro							
Índice de Consistência		0,0996					
Índice de Consistência Randômico		1,2400					
Razão de Consistência (<0,1)		0,0804					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Imediatamente chamou a atenção o fato de quase a totalidade dos setores censitários apresentarem-se classificados como excelentes. Apesar do resultado ser esperado devido aos mapas anteriormente apresentados, é notável o fato que o estado atende satisfatoriamente quase todas as regiões estudadas.

Apesar de existirem diferenças na cobertura de serviços entre as áreas centrais e as áreas de expansão urbana, tais diferenças não são tão expressivas como à distribuição de renda, por exemplo.

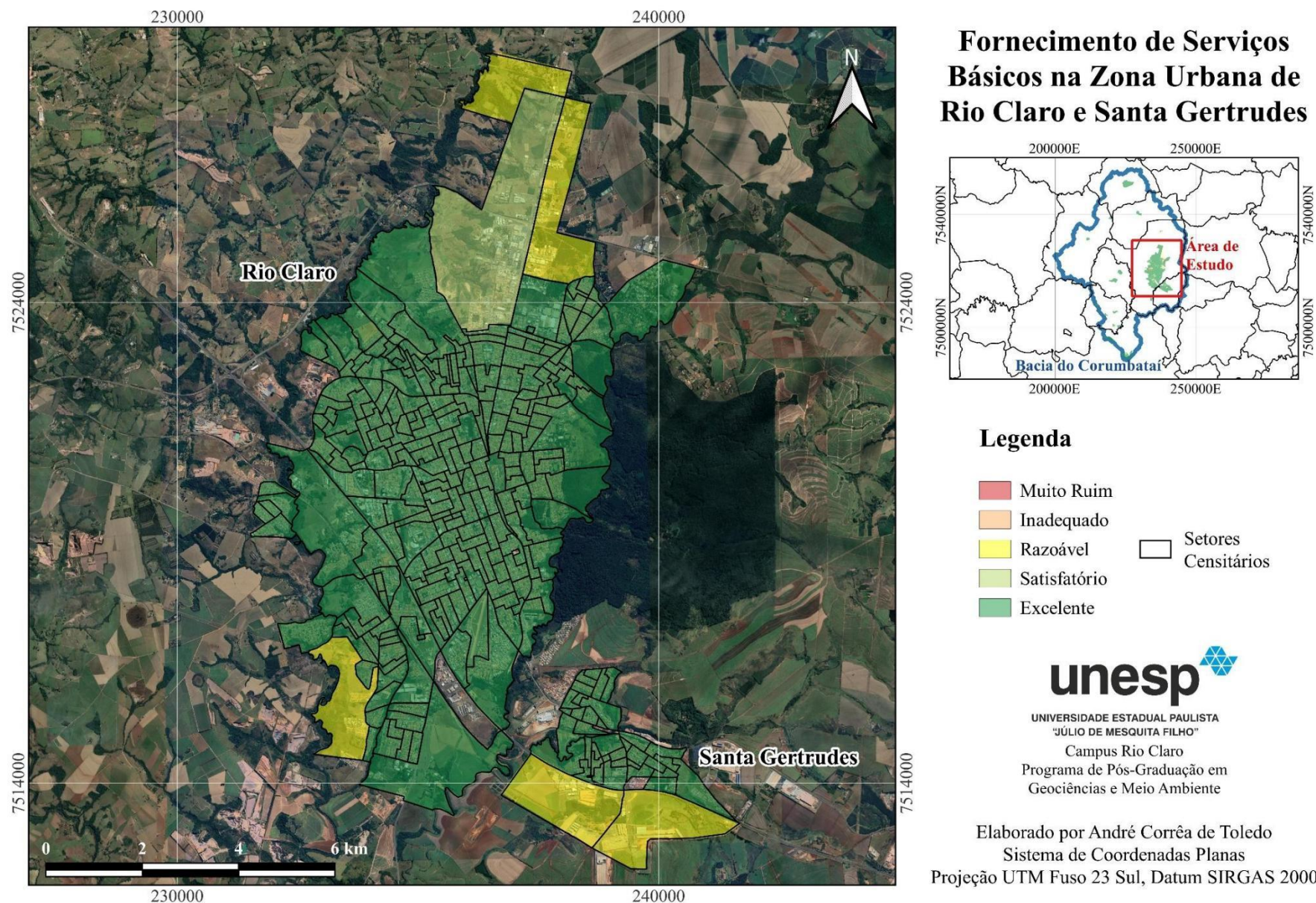
Os setores censitários com as piores classificações, localizados nas regiões norte e sul, correspondem a áreas industriais dos municípios, nas quais há particularidades que os diferenciam das áreas residenciais e comerciais.

Há um setor a sudoeste, classificado como razoável, o qual corresponde a área de expansão urbana, no qual as variáveis de Iluminação Pública e Pavimentação possuíam desempenhos ruins à época do Censo 2010, o que contribuiu para as piores classificações observadas neste mapa.

Por fim, destaca-se que os resultados foram positivamente influenciados pelo fato da cobertura de abastecimento de água e de energia elétrica ser praticamente plena em todo o território urbano das cidades apresentadas.

A seguir, apresenta-se o mapa do fornecimento de serviços básicos na zona urbana de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Figura 30 – Mapa do fornecimento de serviços básicos na zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.



5.2.5. Qualidade do Entorno no Meio Ambiente Urbano

O mapa da qualidade do entorno do meio ambiente urbano, apresentado na Figura 31, foi elaborado a partir das seguintes cinco variáveis: Iluminação Pública, Pavimentação, Esgoto a Céu Aberto, Lixo Acumulado, e Arborização.

A Tabela 16, a seguir, apresenta as matrizes provenientes da técnica AHP, bem como os pesos normalizados conferidos a cada uma das variáveis na elaboração deste mapa.

Tabela 16 – Matrizes AHP para as variáveis do Mapa de Qualidade do Entorno.

Matriz Recíproca	Pavimentação das Vias	Iluminação Pública	Esgoto a Céu Aberto	Lixo Acumulado	Arborização	
Pavimentação das Vias	1/1	1/2	2/1	3/1	5/1	
Iluminação Pública	2/1	1/1	2/1	3/1	6/1	
Esgoto a Céu Aberto	1/2	1/2	1/1	3/1	4/1	
Lixo Acumulado	1/3	1/3	1/3	1/1	3/1	
Arborização	1/5	1/6	1/4	1/3	1/1	
SOMA	4,03	2,50	5,58	10,33	19,00	
Matriz Normalizada	Pavimentação das vias	Iluminação Pública	Esgoto a Céu Aberto	Lixo Acumulado	Arborização	Pesos Normalizados
Pavimentação das Vias	0,2479	0,2000	0,3582	0,2903	0,2632	0,2719
Iluminação Pública	0,4959	0,4000	0,3582	0,2903	0,3158	0,3720
Esgoto a Céu Aberto	0,1240	0,2000	0,1791	0,2903	0,2105	0,2008
Lixo Acumulado	0,0826	0,1333	0,0597	0,0968	0,1579	0,1061
Arborização	0,0496	0,0667	0,0448	0,0323	0,0526	0,0492
Análise de Erro						
Índice de Consistência			0,0446			
Índice de Consistência Randômico			1,1200			
Razão de Consistência (<0,1)			0,0398			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste mapa é possível notar que a zona urbana dos municípios de Rio Claro e de Santa Gertrudes possui a maior parte de sua área classificada como satisfatória ou excelente, e apenas regiões mais periféricas, de expansão urbana, classificadas como razoável ou inadequada.

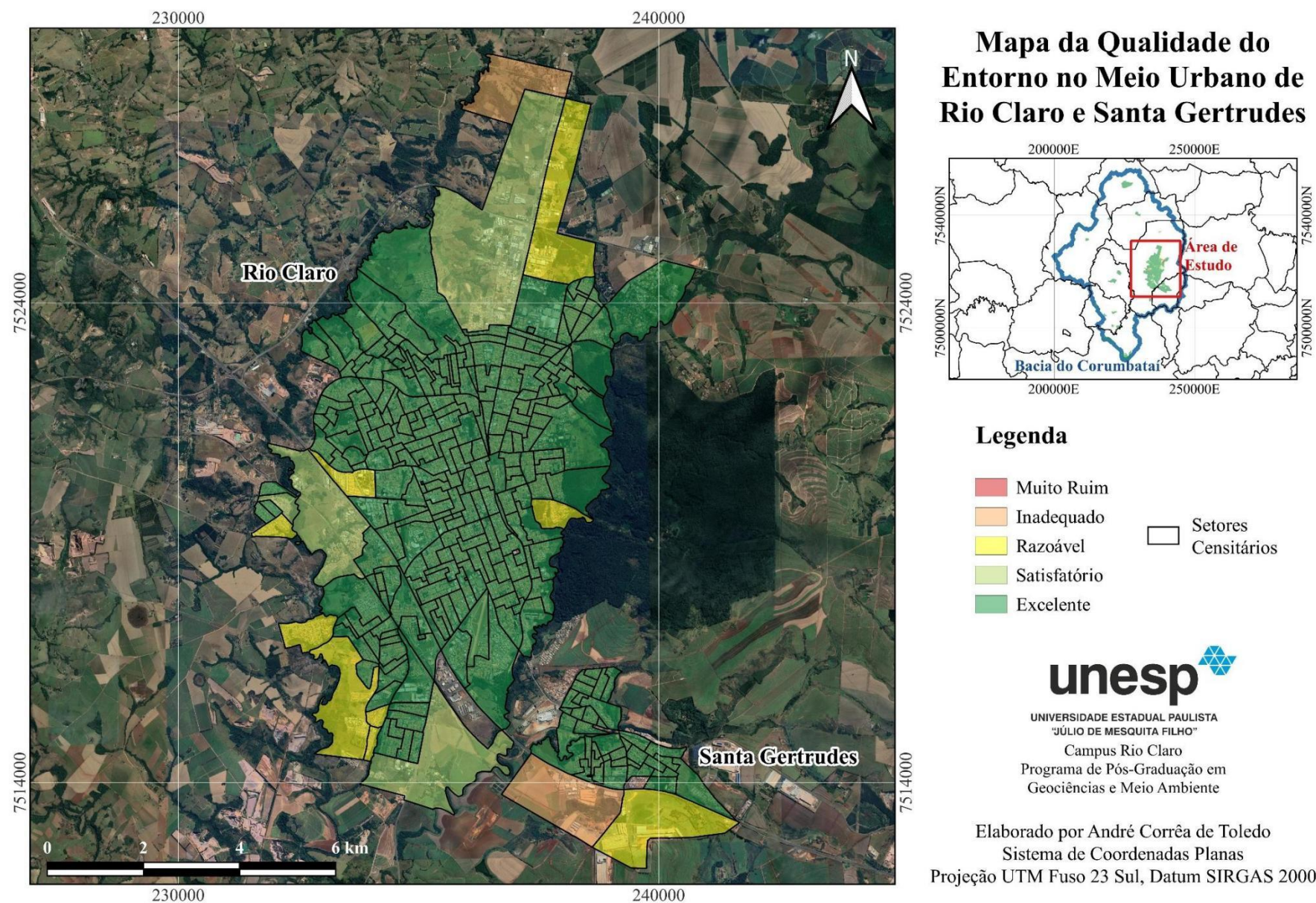
Com base nos mapas apresentados até o momento, pode-se dizer que o resultado era esperado, uma vez que as variáveis Lixo Acumulado e Esgoto a Céu Aberto já haviam apresentado resultados positivos em quase a totalidade dos setores censitários, e a Iluminação Pública e a Pavimentação, por sua vez, apresentavam bons resultados em toda a zona central, porém com alguns setores deficitários nas periferias das zonas urbanas.

A única variável que destoava das demais era a Arborização, entretanto, após a aplicação da técnica AHP, o peso conferido a esta variável contribuiu modestamente com o total, de modo que a variabilidade na distribuição da Arborização não afetou significativamente o resultado obtido.

Excetuadas as áreas industriais, anteriormente discutidas, os setores censitários com as piores classificações correspondem a áreas de expansão dos municípios, nas quais as variáveis de Iluminação e Pavimentação possuíam desempenhos ruins à época do Censo 2010, o que contribuiu para as piores classificações observadas neste mapa.

A seguir, apresenta-se o mapa da Qualidade do Entorno no Meio Urbano de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Figura 31 – Mapa da qualidade do entorno dos domicílios da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.



5.2.6. Qualidade dos Domicílios.

O mapa da qualidade dos domicílios, apresentado na Figura 32, foi elaborado a partir das seguintes seis variáveis, com os respectivos pesos normalizados: Abastecimento de Água, Destinação de Esgoto, Coleta de Lixo, Energia Elétrica, Renda e Moradia.

A Tabela 17, a seguir, apresenta as matrizes provenientes da técnica AHP, bem como os pesos normalizados conferidos a cada uma das variáveis na elaboração deste mapa.

Tabela 17 – Matrizes AHP para as variáveis do Mapa de Qualidade dos Domicílios.

Matriz Recíproca	Água	Esgoto	Lixo	Energia	Renda	Moradia	
Água	1/1	2/1	3/1	1/1	1/7	1/6	
Esgoto	1/2	1/1	2/1	1/2	1/8	1/7	
Lixo	1/3	1/2	1/1	1/3	1/8	1/7	
Energia	1/1	2/1	3/1	1/1	1/6	1/5	
Renda	7/1	8/1	8/1	6/1	1/1	2/1	
Moradia	6/1	7/1	7/1	5/1	1/2	1/1	
SOMA	15,83	20,50	24,00	13,83	2,06	3,65	
Matriz Normalizada	Água	Esgoto	Lixo	Energia	Renda	Moradia	Pesos Normalizados
Água	0,0632	0,0976	0,1250	0,0723	0,0694	0,0456	0,0788
Esgoto	0,0316	0,0488	0,0833	0,0361	0,0607	0,0391	0,0499
Lixo	0,0211	0,0244	0,0417	0,0241	0,0607	0,0391	0,0352
Energia	0,0632	0,0976	0,1250	0,0723	0,0809	0,0548	0,0823
Renda	0,4421	0,3902	0,3333	0,4337	0,4855	0,5476	0,4388
Moradia	0,3789	0,3415	0,2917	0,3614	0,2428	0,2738	0,3150
Análise de Erro							
	Índice de Consistência		0,0617				
	Índice de Consistência Randômico		1,2400				
	Razão de Consistência (<0,1)		0,0498				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pesos selecionados refletem um equilíbrio entre a Renda do domicílio, as condições do imóvel, e os serviços básicos a ele oferecidos.

Os resultados obtidos foram fortemente influenciados pelo mapa de distribuição de Renda, no qual há uma tendência clara de concentração nas regiões centrais da cidade, enquanto as periferias possuem condições financeiras menos favorecidas.

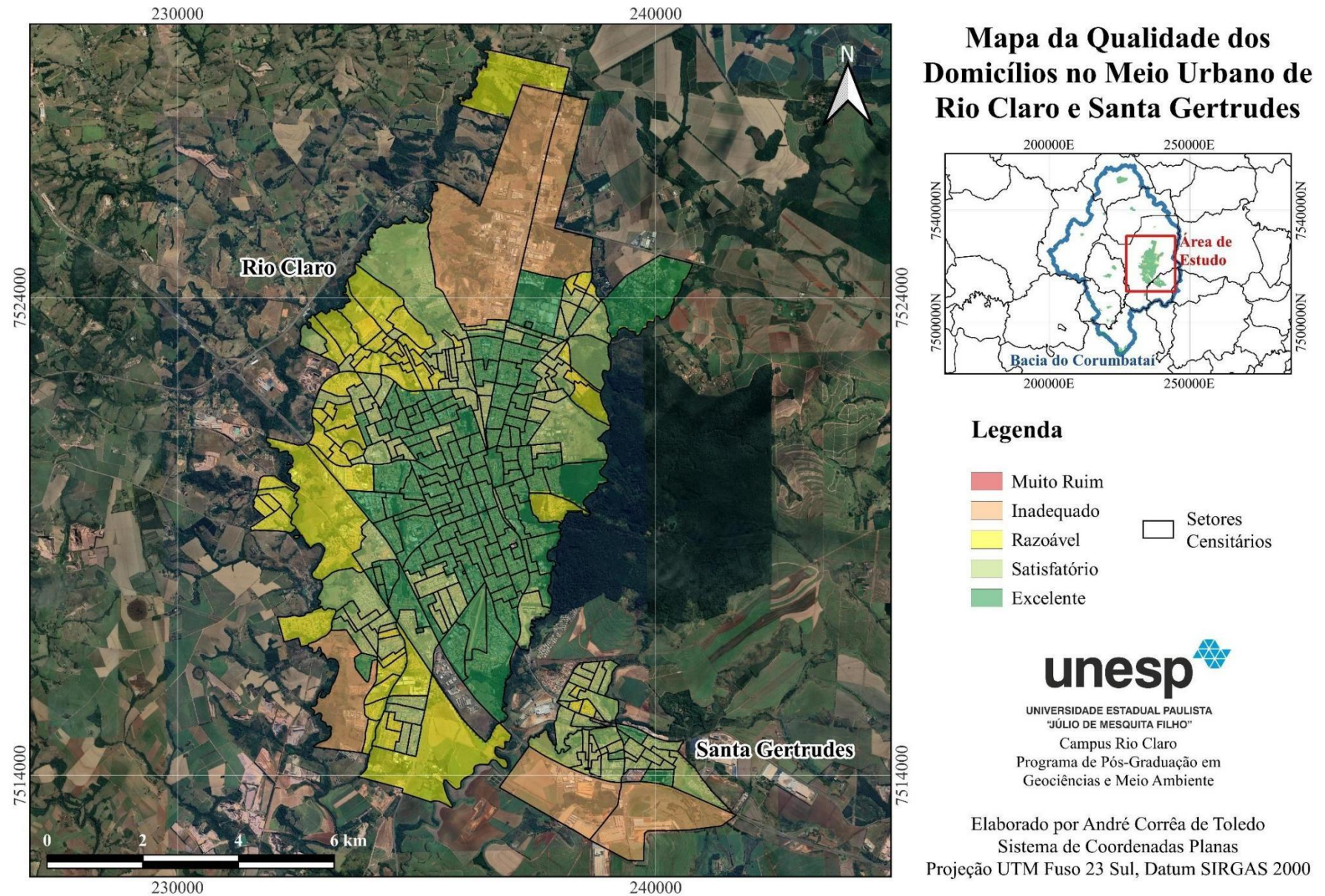
Por outro lado, os efeitos da distribuição de renda são amenizados sobretudo pelas variáveis relativas aos serviços básicos, de modo que, apesar de alguns setores possuírem mais domicílios de baixa renda, eles ainda assim são satisfatoriamente atendidos com serviços básicos de infraestrutura, o que faz com que a classificação destes setores seja razoável.

Novamente, destaca-se as áreas industriais das cidades, as quais receberam a classificação inadequada para os domicílios, devido às suas particularidades, e ao fato de existirem pouquíssimos domicílios nestes setores.

Interessante notar que, apesar de quatro das seis variáveis serem iguais às escolhidas no mapa de serviços prestados, os resultados são diferentes. A comparação entre estes dois mapas evidencia a importância dos pesos atribuídos às variáveis, e conseqüentemente, à importância do uso de técnicas adequadas durante este processo.

A seguir, é apresentado o Mapa da Qualidade dos Municípios no Meio Urbano de Rio Claro e Santa Gertrudes.

Figura 32 – Mapa da qualidade de vida nos domicílios da zona urbana dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes.



6. CONCLUSÕES

Os trabalhos aqui desenvolvidos ratificaram a legitimidade do uso da técnica AHP em ambiente SIG na criação de um retrato da realidade ambiental e social da bacia do Rio Corumbataí. A combinação destas ferramentas permitiu gerar informações coerentes a partir da sobreposição de dados, possibilitando o mapeamento das áreas mais frágeis e vulneráveis para cada fenômeno estudado.

Em relação aos resultados obtidos sobre fatores socioeconômicos, nota-se clara tendência de melhoria das condições de moradia nas zonas urbanas quando comparadas com as zonas rurais. Esta tendência se repete dentro das cidades, onde é possível observar a melhora na qualidade de vida das regiões centrais, em detrimento das áreas periféricas.

Por outro lado, apesar de relativa piora nas condições das periferias, em termos absolutos não se pode afirmar que são áreas olvidadas pelo poder público, uma vez que os serviços básicos para a garantia da dignidade humana se fazem presentes nestas áreas, embora haja espaço para melhorias.

No que diz respeito aos fenômenos relacionados ao meio físico, durante o presente estudo percebeu-se a necessidade de ser específico no estabelecimento do objeto de estudo. Mapeamentos de fragilidade ambiental genéricos realizados com a presente técnica perdem parte de seu significado quando confrontam mapas elaborados para finalidades distintas.

Este caso foi exemplificado pelos mapas de susceptibilidade a erosão e de potencial de impacto de atividades socioeconômicas. Como era de se esperar, regiões industriais apresentaram maiores potenciais no segundo mapa, entretanto, como se localizavam em terreno plano e de solos com baixo Fator K, tais áreas foram classificadas como de baixa susceptibilidade à erosão.

O cruzamento destas duas informações a fim de se estabelecer uma média de fragilidade deste local não tem significado prático, sendo mais interessante a existência de dois mapas, um para cada fenômeno estudado.

Dito isto, as técnicas utilizadas no presente trabalho se mostraram úteis para o mapeamento de fenômenos complexos, tanto do meio físico quanto do meio

socioeconômico, a partir de variáveis mais facilmente levantadas e compreendidas. Outros fenômenos, como enchentes ou movimentações de massa, podem ser estudados de maneira semelhante seguindo estes procedimentos, conforme outros pesquisadores demonstraram, ao mapearem fenômenos distintos fazendo uso das mesmas variáveis, alterando-se apenas a importância relativa de cada uma, por meio da técnica AHP.

O uso de SIG no presente trabalho foi fundamental, pois permitiu a organização e o tratamento de dados espaciais de fontes distintas. Uma vez estabelecido, o banco de dados aceitou novas camadas de informações georreferenciadas, sendo capaz de integrá-las com as previamente levantadas, gerando novas oportunidades de tratamento e interpretação de dados.

A ponderação das diferentes camadas, e dos atributos de uma camada, por meio da técnica AHP se mostrou fundamental para o cruzamento coerente das informações levantadas.

Neste contexto, o presente trabalho não contribui apenas com o mapeamento das condições ambientais e sociais da bacia do Corumbataí, mas também com a ratificação de uma proposta metodológica consistente de avaliação de dados georreferenciados em ambiente SIG, a qual permite inúmeras comparações e tratamentos de dados, de maneira coerente, conforme a necessidade e experiência do pesquisador.

Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados no cruzamento de informações espaciais. Diversas particularidades foram identificadas durante as fases de execução do trabalho, para as quais cabem as colocações elencadas a seguir.

Em relação à escala das camadas de informação, foram verificadas discrepâncias que tornavam algumas das camadas incompatíveis, de modo que, ao invés de se trabalhar em uma única escala, com todas as informações sobrepostas, decidiu-se por elaborar os estudos em duas escalas distintas, uma regional, a nível de bacia hidrográfica, e uma local, ao nível das zonas urbanas.

A divisão das informações entre rurais e urbanas também foi interessante por aspectos qualitativos. A realidade do campo é diferente da cidade, e isso se reflete em todas as etapas da pesquisa, desde a coleta de dados até a apresentação dos

resultados. O pesquisador precisa ter consciência destas diferenças e adaptar seus critérios de avaliação para cada realidade. No presente trabalho estas questões se fizeram presentes ao avaliar, por exemplo, a adequação das modalidades de destinação de lixo e esgoto do campo e da cidade. Caso os mesmos critérios da cidade fossem aplicados à zona rural, praticamente toda a bacia teria sido classificada como inadequada. Novamente se percebe a importância das decisões tomadas pelo pesquisador ao longo do trabalho e sua influência no resultado.

Ainda no contexto dos critérios de adequabilidade das variáveis, vale destacar que situações adequadas para determinado fim podem ser inadequadas para outros. Por exemplo, a variável Pavimentação deve contribuir favoravelmente no mapeamento da qualidade de vida urbana, dadas as melhorias que provê ao transporte individual e coletivo, entretanto, caso se pretenda mapear fenômenos de escoamento superficial e enchentes, esta variável deverá contribuir negativamente para o resultado geral da análise.

Outra variável que merece destaque neste contexto é a presença de Bueiros e Bocas de Lobo. Em uma primeira análise esta variável poderia ser um indicador da presença de infraestrutura contra enchentes, entretanto deve-se lembrar que alguns setores podem possuir baixa quantidade destes dispositivos simplesmente por não serem regiões propícias a inundações, como altos topográficos, por exemplo. Se a análise for descuidada, tais regiões podem ser consideradas como de alto risco a enchentes, uma vez que esta variável teria a menor pontuação possível, quando a realidade seria exatamente o oposto. Por este motivo, optou-se por não incluir essa variável em nenhuma das análises realizadas, uma vez que a escassez de bocas de lobo em determinados setores contribuiria artificialmente para a redução indevida de sua qualidade.

Ao se tratar das questões socioeconômicas urbanas, o presente trabalho baseou-se nos dados do Censo 2010, o qual possui algumas limitações intrínsecas na divulgação de seus dados. O IBGE deve sempre respeitar um nível mínimo de desagregação de seus dados, não sendo permitido individualizar pessoas ou domicílios, a fim de respeitar a privacidade da população e proteger dados pessoais específicos, como a renda de determinada residência.

Este nível de desagregação é aqui representado pelos setores censitários. Apesar de serem divulgados quantos domicílios se enquadram em determinada variável, não é possível dizer quais são, ou qual sua localização dentro de determinado setor.

Esta limitação na espacialização dos dados gera algumas distorções nos resultados observados. Tomando como exemplo a variável Arborização, observou-se que o setor censitário no qual o campus da UNESP de Rio Claro se localiza, possui uma pontuação baixa nesta variável, apesar de se tratar de área altamente arborizada.

A distorção destas informações provém da delimitação do setor censitário, dentro do qual a UNESP é considerada como um único domicílio. Apesar da universidade ser arborizada, seu setor engloba alguns quarteirões vizinhos, os quais são pequenos em área, quando comparados à UNESP, mas contam com mais de 100 domicílios. Como a maior parte destes domicílios não possui exemplares arbóreos em seu entorno, todo o polígono foi considerado como de baixa arborização.

Por fim, vale destacar que muitos dos dados aqui utilizados foram levantados pelo IBGE durante o Censo 2010, e que durante o fechamento dos trabalhos, o IBGE iniciou a divulgação dos resultados do Censo 2022. Entretanto, apenas alguns dados parciais haviam sido apresentados, e não as informações georreferenciadas necessárias para a pesquisa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho ratifica a literatura especializada acerca do sucesso no uso da técnica AHP em ambiente SIG para o tipo de estudo desenvolvido. Por outro lado, durante o desenvolvimento dos trabalhos foram observadas algumas limitações das técnicas utilizadas e das variáveis selecionadas, o que demonstra a importância da experiência do pesquisador e a influência de suas decisões nos resultados obtidos.

Consideram-se cumpridos os objetivos propostos, uma vez que os mapas temáticos gerados indicam de maneira direta as áreas onde os serviços públicos são menos eficazes, e onde as moradias são de menor qualidade, bem como as regiões de maior atenção para fenômenos de perda de solo e de desenvolvimento de atividades de maior potencial de impacto ambiental. Desta forma, as informações

geradas possibilitam a elaboração de diagnósticos que comparem a situação real com o futuro almejado para a área, podendo ser utilizadas por tomadores de decisão na formulação de políticas públicas e na alocação de recursos.

Portanto, o presente trabalho fortalece o ODS nº 11 ao aumentar a capacidade de planejamento e gestão territorial na Bacia do Rio Corumbataí e fornecer uma métrica para o monitoramento da evolução de suas metas. Espera-se que os estudos realizados contribuam com a construção de comunidades inclusivas, seguras e resilientes, e com o desenvolvimento sustentável da região.

Como recomendação de continuidade dos trabalhos, sugere-se a utilização desta dissertação como base para novos estudos, utilizando os dados do Censo 2022, a fim de comparar os resultados obtidos a partir de dados atualizados com os aqui apresentados, criando-se assim um diagnóstico da evolução destas variáveis na Bacia do Rio Corumbataí.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. N.; ROEHRIG, J.; WENDLAND, E. C. **Integração de Modelos de Simulação a Sistemas de Informações Geográficas Livres: O caso do modelo AÇUMOD e do OPENGIS JUMP**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais XIII. Florianópolis. 2007.

ALMEIDA, M. C.; MORAES, P. S.; MORAES, C. S. B.; QUEIROZ, O. T. M. M.; RAMOS, M. A. G.; LUI, G.; WAGNER, L. A. **Turismo sustentável e a potencialidade dos atrativos turísticos de Ipeúna, SP, Brasil**. In: Anais do SGA'20 - Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2020.

AMORIM, G. M.; EBERT, H. D.; HORST, R. **Integração de Informações Geológicas para o Geoturismo na Bacia do Rio Corumbataí e sua Divulgação na Web através do Mapserver**. São Paulo. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Geociências, v.24, n.3, 2005. p.221-238.

AYALA, N. F.; FRANK, A. G. **Métodos de análise multicriterial: uma revisão das forças e fraquezas**. Anais da Semana de Engenharia de Produção Sul Americana (Gramado, RS). FEEng. Porto Alegre, 2013.

BECKER, D. F. **Os limites desafiadores do planejamento**. Redes, Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 2, 1998. p. 87-105.

CANDIDO, G. B. **O Impacto socioeconômico provocado pelo estabelecimento da montadora de veículos Honda no município de Itirapina/SP**. Monografia (Economia). Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019. 150 p.

CEAPLA - Centro de Análise e Planejamento Ambiental. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Disponível em: <https://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv4/geomorfologia.php>. Acesso em: 14 dez. 2023.

DALLABRIDA, V. R.; TOMPOROSKI, A. A.; SAKR, M. R. **Do marketing territorial ao branding de território: concepções teóricas, análises e perspectivas para o Planalto Norte Catarinense**. Interações, Campo Grande (MS), v. 17, n. 4, 2016. p. 671-685.

DALLABRIDA, V. R. **Planejamento e gestão territorial: aportes teórico-metodológicos como referenciais no processo de desenvolvimento de municípios, regiões ou territórios**. Mafra, SC. Editora da UnC, 2020a.

DALLABRIDA, V. R. **Patrimônio territorial: abordagens teóricas e indicativos metodológicos para estudos territoriais**. Desenvolvimento em Questão, v. 18, n. 52, 2020b.

DENGIZ, O.; ÖZYAZICI, M.A.; SAĞLAM, M. **Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment**. Paddy Water Environ 13. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10333-013-0400-4>

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10, 2006, p.175-181.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 1999. 412p.

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise hierárquica (AHP)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos (SP). São Carlos, 2011.

FREDERICE, A.; AMARAL D. C.; MOREIRA, D. C.; SHITARA, J.; FUESS, L. T.; COSTA, N. R.; CURAN, R. M.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C. **Diagnóstico ambiental do rio Corumbataí em trecho urbano do município de Rio Claro, SP**. Geociências, São Paulo, v. 29 n. 4, 2010. p. 643-657.

FREY, K.; TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R.; RAMOS, R. F. **Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no contexto da Macrometrópole Paulista – desafios e perspectivas**. In: FREY, K. *et al.* (org.). Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o planejamento e a governança ambiental na Macrometrópole Paulista. Santo André: Editora UFABC, 2020. Cap. 1, p. 12.

GARCIA, L. B. R. **Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí – séculos XVIII a XX**. Atlas ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. UNESP, Rio Claro 2001. Disponível em https://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas-v4/des_economico.php. Acesso em: 14 dez. 2023.

GIMENES, F. B. Q. **Mapa de Fragilidade Ambiental: conceituação e aplicação em um setor do oleoduto São Paulo – Brasília (OSBRA)**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2013.

GIMENES, F. B. Q.; FILHO, O. A.; **Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG)**. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?edicao=15931&t=downloads>. Acesso em 12 nov. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Urbanística do Entorno dos Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: censo2022.ibge.gov.br/etapas/pesquisa-urbanistica-do-entorno-dos-domicilios.html. Acesso em 08 nov. 2023.

JANCZURA, R. **Risco ou vulnerabilidade social?** Textos & Contextos, v. 11, n. 2. Porto Alegre. 2012. p. 301–308.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. **Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações**. Informática Pública, v. 11. 2009. p. 69-87

KOFFLER, N. F. **Carta de declividade da bacia do rio Corumbataí para análise digital (SIG)**. Geografia, Rio Claro, v.19, n.2.1994. p. 167-182.

KOLYA, A.; ZAINE, M.; ZAINE, J.; PERINOTTO, A.; REIS, F. **Didática no ensino de geociências: práticas pedagógicas aplicadas à geodiversidade do Projeto Geopark Corumbataí**. VIII EnsinoGeo – Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra. Campinas, 2018.

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 3ª Ed. Campinas, 1996. 84 p.

MAGNAGHI, A. **Il progetto locale: verso la coscienza di luogo**. Torino: Bollati Boringhieri, 2010.

MALTA, F. S. **Vulnerabilidade Socioambiental: Proposta Metodológica e Diagnóstico Para o Município do Rio De Janeiro**. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.164 p.

MANDAL V. P.; REHMAN S.; AHMED R. **Land suitability assessment for optimal cropping sequences in Katihar district of Bihar, India using GIS and AHP**. Spatial Information Research. Índia, 2020.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum v. 24, n. 5. 2002. p. 1335-1340.

MORAES, C. S. B.; GUIMARÃES, S. T. L. **Subsídios para a Implantação do Turismo Ambiental no Município de Charqueada/SP**. Holos Environment, v. 1, n. 1. 2001. p. 28–38. Disponível em: <https://holos.emnuvens.com.br/holos/article/view/1639>. Acesso em: 22 dez. 2023.

MORETTO, C. F.; GIACCHINI, J. **Do surgimento da Teoria do Desenvolvimento à concepção de sustentabilidade: velhos e novos enfoques rumo ao desenvolvimento sustentável**. Texto para Discussão nº 06/2006. VI Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ambiental, “O meio ambiente nas Políticas”. Passo Fundo, 2006.

NASSIF, A. M. A. **Recuperação da cobertura florestal na bacia do rio Corumbataí**. Série Técnica IPEF, v. 12, n. 32. São Paulo, 1998. p. 121-126.

NILSSON, C.; GRELSSON, G. **The fragility of ecosystems: a review**. Journal of Applied Ecology. Vol. 32. 1995. p. 677-692.

NOBRE, M. F. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental: uma proposta para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP)**. Tese de Doutorado. Unesp. IGCE. 2008. 248 p.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos**. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984.

OLIVEIRA, J. K. **Turismo Rural e Ordenamento Territorial: o Caso de Analândia/SP**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista. v. 6, n. 9, 2010.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em 08 jan. 2024.

PALMA-SILVA, G. M.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; PIÃO, A. C. **Capacidade de autodepuração de um trecho do Rio Corumbataí**. Centro de Estudos Ambientais – CEA, UNESP. Rio Claro, 2007.

PAULA, B. L.; CERRI, L. E. S. **Aplicação do processo analítico hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeverica da Serra e Suzano (SP)**. Geociências, v. 31, n. 2. Rio Claro, 2012. p. 247-257.

PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. S.; TAVARES, P. A. **Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais**. Interações, v. 20, n. 2, Campo Grande, 2019. p. 407–420.

POLI, D. **Il patrimonio territoriale fra capitale e risorsa nei processi di patrimonializzazione proativa**. In: MELONI, B. Aree interne e progetti d'area. Torino: Rosenberg e Sellier, 2015. p. 123-140.

QGIS. **A liderança do SIG de código aberto**. Artigo publicado na página oficial do SIG. 2023. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso em: 10 out. 2023.

ROSA, R. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, v. 16. 2011. p. 81-90. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.-00-16.0009>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SAATY, T. L. **How To Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process**. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, 1990. p. 9-26. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>. Acesso em: 11 jul. 2023.

SAATY, T. L. **Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process**. Behaviormetrika, v. 18. 1991. p 1-9. Disponível em: https://doi.org/10.2333/bh-mk.18.29_1. Acesso em: 11 jul. 2023.

SANTOS, L. B. L. **An RS-GIS-Based Comprehensive Impact Assessment of Floods -A Case Study in Madeira River, Western Brazilian Amazon**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, [s.l.], v.14, n.9, set. 2017. p. 1614-1617. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/document/79-99247>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SANTOS, S. C.; GARCIA, G. J. **Desenvolvimento Integrado e Gestão para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí**. Estudos Geográficos, Rio Claro, 2006. Disponível em: www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.html. Acesso em: 25 set. 2023.

SEEMANN, J. **Mapas, mapeamentos e a cartografia da realidade**. Revista Geografares, v. 4. Vitória, 2003.

SINGH, C.K.; KATPATAL, Y. B. **A GIS Based Design of Groundwater Level Monitoring Network Using Multi-Criteria Analysis and Geostatistical Method**. Water Resour Manage 31. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1737-z>. Acesso em: 18 dez. 2023.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo da UGRHI 5 (PCJ) - Escala 1:25.000**, 2013. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-uso-e-ocupacao-da-terra-ugrhi-5-pcj/>. Acesso em: 22 jul. 2023.

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

SUTTON, T.; DASSAU, O.; SUTTON, M.; NSIBANDE, L.; MTHOMBENI, S. **Gentle GIS Introduction**. QGIS Project. Departamento de Assuntos Fundiários, Cabo Oriental, África do Sul, 2023. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.28/pdf/pt_BR/. Acesso em: 05 ago. 2023.

TASHAYO, B.; HONARBAKHSH, A.; AZMA, A; AKBARI, M. **Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran**. Environmental Management 66, 364–376. Irã, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8>. Acesso em: 18 dez. 2023.

TOMAZELE, C. F. **Diversidade paleontológica cidadã em geoparques brasileiros: Conceito de paleontologia cidadã na implementação do Projeto Geoparque Corumbataí, SP.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras. Bauru, 2023. 109 p.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP.** Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001. 144 p.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos.** Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. 151 p.

WOOD, D. **Introducing the Cartography of Reality.** In: LEY, D.; SAMUELS, M. S. (org.). *Humanistic Geography. Prospects and Problems.* Chicago, 1978, p. 207-219.